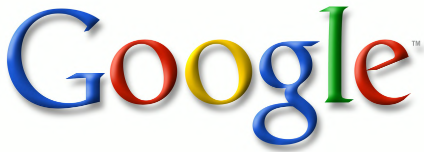


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

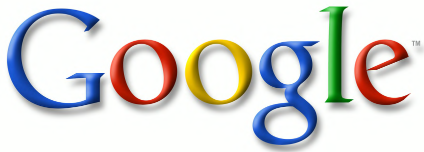
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Gj-A

2.4

Gj-A613.3

WHITNEY LIBRARY,

HARVARD UNIVERSITY.



THE GIFT OF

J. D. WHITNEY,

Sturgis Hooper Professor

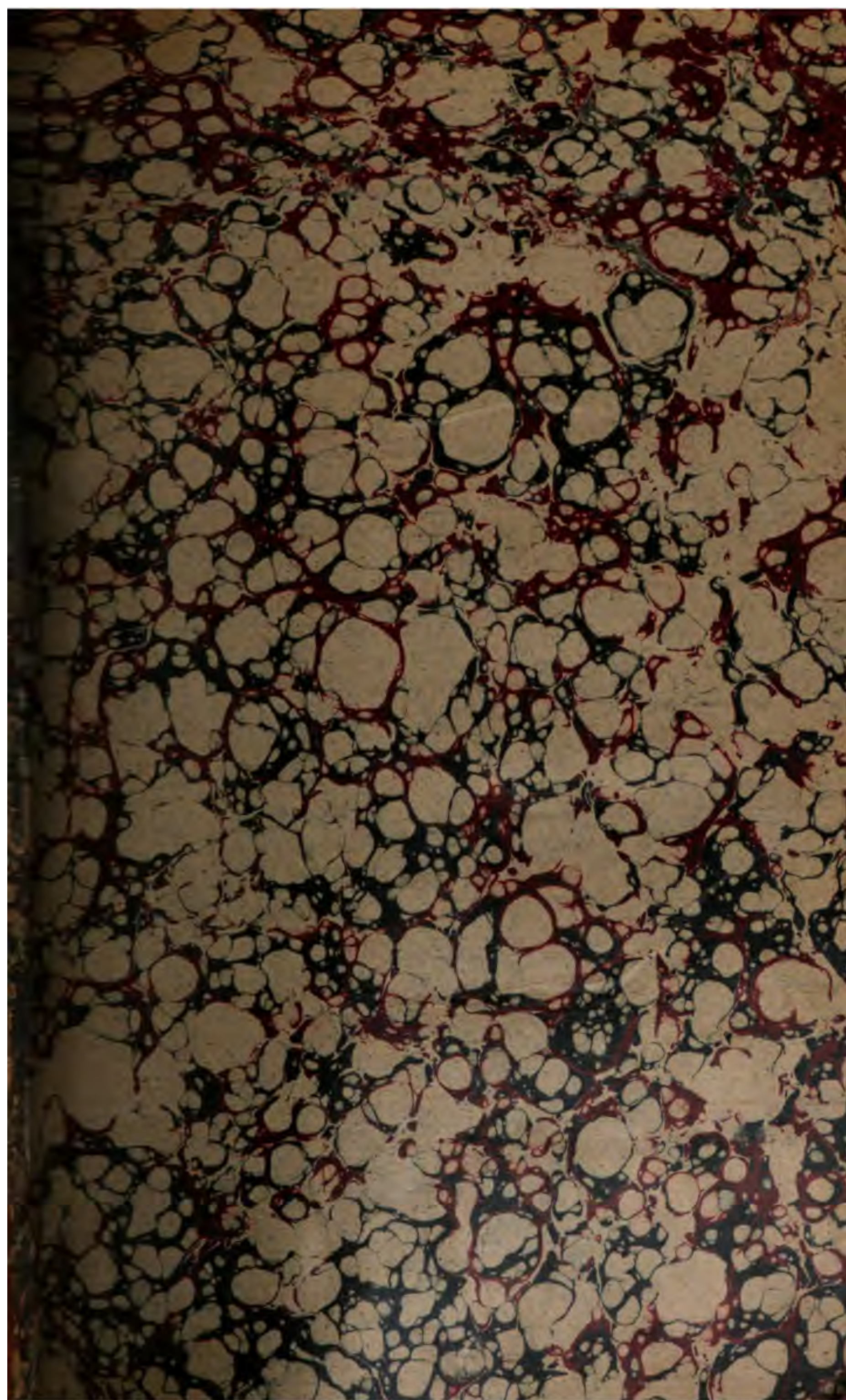
IN THE

MUSEUM OF COMPARATIVE ZOÖLOGY

21,234

TRANSFERRED TO GEOLOGICAL SCIENCES LIBRARY

June 15, 1903.



Je

déclare

TRAV

à

ANNALES

DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission, dont fait partie le directeur des mines, est composée ainsi qu'il suit:

MM.
DU SOUICH, inspecteur général des mines, *président*.
DAUBRÉE, inspecteur général, directeur de l'École des mines.
GUILLEBOT DE NERVILLE, inspecteur général.
JACQUOT, d°
CACARRIÉ, d°
MEISSONNIER, d°
DESCOTTES, d°
DUPONT, inspecteur général, inspecteur de l'Ecole des mines.
TOURNAIRE, inspecteur général.
DELESSE, d°
DE CHANCOURTOIS, inspecteur général, professeur à l'École des mines.

MM.
GENTIL, inspecteur général.
BAYLE, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.
LAN, d°
HATON DE LA GOUPILLIÈRE, d°
MALLARD, d°
KELLER, ingénieur, chargé du service de la statistique de l'industrie minérale à la Direction des mines.
FUCHS, ingénieur, professeur à l'École des mines.
CARNOT, d°
ZEILLER, ingénieur, *secrétaire de la commission*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics*, à M. l'Ingénieur secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XVI.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES

ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

1879

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1879.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

AVED DE MAGNAC. — Résumé de la nouvelle navigation astronomique, avec types de calculs, par M. Aved de Magnac, lieutenant de vaisseau. In-4°, 91 p., gr. in-4°. (11003)

BOILLOT (A.). — L'Astronomie à l'Exposition universelle de 1878; instruments et méthodes d'observation. Rapport par M. A. Boillot. In-8°, 52 p. et 4 fig. 2f. (10796)

BRASSINNE (E.). — Précis d'un traité de statique dans lequel les couples sont remplacés par les leviers de rotation; par M. E. Brassinne. (9322)

CATALAN, docteur ès sciences. — Théorèmes et problèmes de géométrie élémentaire, avec leur démonstration et leur solution raisonnée; ouvrage destiné à tous les aspirants au baccalauréat et aux Écoles du gouvernement. 4e *édition*, un beau volume in-8° avec vignettes. 10f.

COLLIGNON (Ed.), inspecteur des études à l'École des ponts et chaussées. — Cours d'analyse professé à l'École des ponts et chaussées. — Complément. In-8° avec vignettes. 7f,50.

— Le Cours d'analyse et le Complément. 2 vol. in-8°. 20 fr.

DECHARME (C.). — Sur les formes vibratoires des corps solides et des liquides, par C. Decharme. In-8°, 70 p. et 5 planches. (11067)

FAVARO (A.). — Leçons de statique graphique; par Antonio Favaro. Traduites de l'italien par Paul Terrier, première partie : In-8°, XLIV-288 p. (13282)

GUYOU (E.). — Théorie nouvelle de la stabilité de l'équilibre des corps flottants; par M. E. Guyou, lieutenant de vaisseau. In-8°, 26 p. avec fig. (6660)

Maximovitch (W.). — Nouvelle méthode pour intégrer les équations simultanées aux différentielles totales; par M. Maximovitch. In-4°, 33 p. (9151)

Molins (H.). — Mémoire sur un système triple de surfaces orthogonales développables; par M. H. Molins. In-8°, 20 p. (9749)

Penet (L.). — Sur les surfaces et les lignes topographiques; par M. Léon Penet. In-8°, 86 p. et planche. (8149)

Poincaré. — Sur les propriétés des fonctions définies par les équations aux différences partielles; par M. Poincaré. In-4°, 99 p. (9540)

Puiseux (P.). — Sur l'accélération séculaire du mouvement de la lune; par M. P. Puiseux. In-4°, 89 p. (9211)

2° *Chimie. — Physique.*

Barbet (E.). — Rôle du noir animal en sucrerie; par M. Émile Barbet. In-8°, 39 p. (7109)

Berthelot, de l'Institut, professeur au Collège de France. — Essai de mécanique chimique fondée sur la thermochimie. T. I. Calorimétrie. T. II. Mécanique. 2 vol. In-8°, XLI-1340 p. avec vignettes, tableaux et portrait. Prix 45f. (13497)

Bourdy (P.). — Étude sur la perte de mercure dans le traitement des cendres d'orfèvres par l'amalgamation; par P. Bourdy, essayeur du commerce. In-8°, 23 p. (7938)

Carnot (A.). — Nouvelle méthode de traitement des minerais de bismuth; par M. Adolphe Carnot, ingénieur des mines. In-8°, 5 p. (9334)

Castillon (A.). — Récréations physiques; par A. Castillon, professeur au collège Sainte-Barbe. In-18 jésus, 356 p. avec 38 vign. 2f,25. (9338)

Decharme (C.). — Physique; Notes sur divers sujets. Acoustique, thermo-chimie, électricité, météorologie; par C. Decharme, professeur de physique. In-8°, 56 p. et 2 planches. (12444)

Depierre (J.). — La Chimie industrielle à l'Exposition universelle de 1878. II. Impressions et teinture des tissus, blanchissage et blanchiment; rapport, par M. Jos. Depierre, ingénieur chimiste. In-8°, 124 p., 22 fig. et 17 pl. 12f,50. (10850)

Ditte (A.). — Traité élémentaire d'analyse qualitative des matières minérales; par Alfred Ditte, professeur à la Faculté des sciences de Caen. In-8°, XXIV-368 p. et 3 grandes planches en couleur. Prix : 17f,50. (13557)

Du Moncel (T.). — L'Éclairage électrique; par le comte Th. Du

Moncel, de l'Institut. In-18 jésus, 368 p. avec 70 fig. Paris (20 novembre). (13026)

Esbach (G.). — Le Dosage de l'urée. Observations par le docteur G. Esbach. In-8°, 16 p. (13276)

Ferrini, professeur à l'Institut technique de Milan. — Technologie de la chaleur. Chauffage et ventilation des bâtiments. Grand in-8° avec vignettes et 5 planches, traduit de l'italien par Archinard, ingénieur des arts et manufactures. Grand in-8° avec vignettes, relié. 20f.

Filhol. — Note sur l'action que l'acide sulfhydrique exerce sur les sels de zinc et de manganèse; par M. Filhol. (13928)

Forcrand (R. de). — Mémoire sur la formation des outremers organiques; par Robert de Forcrand, préparateur de chimie à la Faculté des sciences de Lyon. (6647)

Foucault (L.). — Recueil des travaux scientifiques de Léon Foucault, de l'Institut. Texte et planches. In-4°, XXVIII-596 p. et portrait, et atlas in-4° de 23 p. et 19 pl. Paris. (12202)

Garrigou (F.). — Histoire de la découverte du mercure dans l'eau de la source du rocher de Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme); par le docteur F. Garrigou. In-8°, 24 p. (11406)

Gorup-Bezanez. — Traité de chimie physiologique. Traduit de l'allemand par M. Schlagdenhaufen, professeur aux Écoles de médecine et de pharmacie de Nancy, 2 vol. grand in-8° avec vignettes, reliés. 37f,50.

Grandeau (L.). — Cours d'agriculture de l'École forestière. Chimie et physiologie appliquées à l'agriculture et à la sylviculture; par L. Grandeau, professeur d'agriculture. I. La Nutrition de la plante; l'Atmosphère et la Plante. Gr. in-8°, XVI-624 p. (7713)

Haller (A.). — Contribution à l'étude du camphre et d'un certain nombre de ses dérivés; par A. Haller. In-4°, 65 p. (7426)

Haller (A.). — Théorie générale des alcools. In-8°, 133 p.; lib. J.-B. Baillière et fils. (6960)

Hétet (F.). — Manuel de chimie organique élémentaire avec ses applications à la médecine, à l'hygiène et à la toxicologie; par M. Frédéric Hétet, professeur de chimie à l'École de médecine navale de Brest. In-18 jésus, VII-767 p. avec 49 fig. 8 fr. (13057)

Husson (C.). — Recherches micrographiques sur les cires et les beurres utilisés en pharmacie; par M. C. Husson, pharmacien. In-8°, 11 p. et pl. (11130)

Jean (F.).— Titrage du tannin et composition de diverses matières astringentes; par M. Ferdinand Jean. In-8°, 27 p. (7193)

Jussieu (F. de). — Étude sur les alliages de plomb et d'antimoine;

Je s

déclare

TRAV

à

ANNALES

DES MINES.

DEGHILAGE. — Locomotion à l'Exposition de 1878 (Revue des chemins de fer, 1879).

DUMONT (G.). — Les distributions d'eaux et les canaux d'irrigation à l'Exposition universelle de 1878. Grand in-8°, 126 p., 59 fig. et 12 pl., 10f. (6340)

DUPUY, ingénieur en chef de la construction au chemin de fer d'Orléans. — Traité pratique de la construction des ponts métalliques en arcs. In-8° et atlas de 18 pl., dont 4 en couleur, 17f,50.

FALIES (A.). — Le nouveau projet de loi des chemins de fer d'intérêt local. In-8°, 48 p. (18381)

FERRINI, professeur à l'Institut technique de Milan. — Technologie de la chaleur. Chauffage et ventilation des bâtiments. Grand in-8° avec vignettes et planches, traduit de l'italien par M. Archinard, ingénieur des arts et manufactures. Grand in-8° avec vignettes, relié, 20f.

FINET (Théod.), ingénieur. — De l'exploitation des canaux et voies navigables. Grand in-8°, 4f.

GAUDRY et LUCHARD. — Machines à vapeur; locomotives et machines pour tramways à l'Exposition universelle de 1878. Grand in-8°, VIII 206 p., 10f. (8804)

LALANNE (Léon), de l'Institut, directeur de l'École des ponts et chaussées. — Calculs abrégés des terrassements et mouvements de terre. In-8° et 2 pl., 2f.

LAVOINNE, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et PONTZEN, ancien élève de l'École des ponts et chaussées. — Construction et exploitation des chemins de fer d'Amérique. Le t. I, Construction, in-8° et atlas, est paru au prix de 50 fr.

LEROY (A.). — Traité pratique des machines locomotives. In-8°, x-546 p. et atlas gr. in-4° de 9 pl. (6994)

LESSAR (P.). — De la construction des chemins de fer en temps de guerre : lignes construites par l'armée russe pendant la campagne de 1877-1878; par M. P. Lessar, ingénieur du gouvernement russe. Traduit du russe par M. L. Avril. In-8°, 142 p. et 10 pl. 6f,50. (10685)

PARANDIER (A. N.). — Prolongement, par Morez, sur Genève, le Bugey, la Savoie et l'Italie, du chemin de fer qui s'arrête actuellement à Champagnolle; par A. N. Parandier, inspecteur général des ponts et chaussées. In-8°, 24 p. et carte (9187)

STOECKLIN et LAROCHE. — Des ports maritimes considérés au point de vue des conditions de leur établissement et de l'entretien de leurs profondeurs; rapport fait à la suite d'une mission en Bel-

gique, en Hollande et en Angleterre; par MM, Stoecklin, ingénieur en chef, et Laroche, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 138 p. et 15 pl. (6513)

VICAIRE. — Note sur la limitation de la vitesse des trains, eu égard au tracé de la voie. (Revue des chemins de fer.)

VIOLLET-LE-DUC (E. E.). — De la décoration appliquée aux édifices; par Eug. Emm. Viollet-le-Duc. Grand in-4°, 51 p. avec 23 fig. 8 fr. (19977)

VIONNOIS (F.). — Architecture civile bourguignonne. Restauration et agrandissement du palais de justice de Dijon; par Félix Vionnois. Grand in-4°, 13 p. et 12 pl. (12631)

6° *Sujets divers.*

ANTHONI (G.). — La carrosserie à l'Exposition universelle de 1878. In-8°, 64 p., 44 fig. et pl., 3 fr. (10780)

AUCOC (Léon), ancien président de section au Conseil d'État, membre de l'Institut. — Conférences sur l'administration et le droit administratif, faites à l'École des ponts et chaussées. — T. I, 2e édition. — Organisation et attributions des pouvoirs publics. In-8°, 9 fr.

—— T. II, 2e édition. — Notions sur la propriété, les obligations et la capacité des personnes, 11 fr.

BARRAU (T. H.) et G. HEUZÉ. — Simples notions sur l'agriculture, les animaux domestiques, l'économie agricole et la culture des jardins; par Th. H. Barrau. Nouvelle édition, refondue par Gustave Heuzé. In-18 jésus, IV-284 p. avec 78 vignettes et une carte. (11013)

BONNEVILLE, PAUL, A. et L. JAUNEZ. — Les arts et les produits céramiques. La fabrication des briques et des tuiles; la fabrication des pierres artificielles, les produits céramiques, poteries communes, porcelaines, faïences; par MM. Bonneville, Paul, A. et L. Jaunez, ingénieurs manufacturiers. In-8°, VIII-186 p., avec 8 pl. et fig., 10 fr. (7119)

BOURIGEAU-GESMON. — Projet d'un canal de jonction occidental de la Garonne à la Loire, par la Dronne, la Charente et le Clain. In-8°, 23 p. (9316)

BRAY (J. de). — La Ramie, plante textile supérieure au chanvre, au lin et au coton; par le baron Jean de Bray. (11031)

BREUILLÉ (P.). — Nouveau barême de comptes faits pour la paye des ouvriers et les frais de transport par chevaux, In-8°, 356 p. (12991)

Cellière (L.). — Traité élémentaire de peinture en céramique; par Louis Cellière. In-12, VI-94 p. (13236)

Chantre (E.). — Les nécropoles du premier âge du fer des Alpes françaises. In-8°, 27 p. avec 60 fig. et 3 pl. (11343)

Chardon (A.). — Photographie par émulsion sensible; bromure d'argent et gélatine. In-8°, VIII-58 p. 3f,50. (13521)

Davanne (A.). — La photographie, ses origines, ses applications. In-8°, 34 p. avec fig. (13258)

Debauve, ingénieur des ponts et chaussées. — Dictionnaire des travaux publics; 20e fascicule du Manuel de l'ingénieur, en 3 tomes. Le tome Ier est paru, les tomes II et III paraîtront au commencement de 1880. 35 fr. (Ce prix de 35 fr. sera porté à 40 fr. aussitôt l'achèvement.)

Deville (J.). — Dictionnaire du tapissier, critique et historique de l'ameublement français depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours. In-4°, p. 1 à 432 et 97 pl. (11074)

Gand (E.). — Cours de tissage, t. III, troisième et dernière année. Gr. in-8°, XIV-564 p, et album de 61 pl. 20 fr. (10643)

Gazeau de Vautibault. — Le Trans-saharien. In-18, 36 p. (11409)

Gobin (A.), Bénion et A. Robinson. — Les produits alimentaires : 1° La viande, production, consommation, conservation, à l'Exposition universelle de 1878; rapport par M. A. Gobin, professeur de zootechnie et d'agriculture; 2° Lait, crème, beurre et fromages; rapport par M. Bénion; 3° Les boissons fermentées, rapport par M. A. Robinson. In-8°, 128 p. avec 2 fig. (13297)

Lefébure de Fourcy. — Congrès international d'études du canal interocéanique. Exposé général de la question. In-4°, 11 p. et carte. (10886)

Extrait du Compte rendu.

Législation anglaise. L'acte concernant les manufactures et ateliers du 27 mai 1878. Traduit par M. Jules Perin. In-8°, 68 p. (9733)

Lorin (N.). — De la peinture sur verre. In-8°, 40 p. (13089)

Malo (Léon), ingénieur civil. — Note sur l'état actuel de l'industrie de l'asphalte. In-8°. 2 fr.

Pélegry (A.). — La photographie des peintres, des voyageurs et des touristes. In-18 jésus, 82 p. et 2 planches photographiques. (13393)

Pouillet (E.). — Traité théorique et pratique des brevets d'invention et de la contrefaçon; par Eug. Pouillet, avocat à la cour d'appel de Paris. In-8°, XXIV-856 p. 11 fr. (9206)

Renouard (A.). — Les arts textiles à l'Exposition universelle de

1878. Première partie : la soie, le coton, la laine, le chanvre, le phormium, le jute. Deuxième partie : les tissus réticulaires. Rapport par M. Alfred Renouard fils, filateur de lin. In-8°, 217 p. avec 6 pl. et 9 fig. (6780)

TISSANDIER (G.). — Observations météorologiques en ballon. In-18 jésus, 55 p. avec fig. (12935)

TOUAILLON fils (C.). — Les industries agricoles alimentaires et le broyage des engrais. In-8°, XI-504 p. (13789)

TRÉMAUX (J. M.). — Alimentation des villes et des villages par les procédés hydrologiques. In-8°, 56 p. et 2 pl. (8956)

VIGUIER. — Étude sur les agronomes romains. In-8°, 38 p. et pl. (11284)

VOISIN-BEY. — Rapport de la commission technique lu au congrès international d'études du canal interocéanique. In-4°, 69 p. et 2 cartes. (10256)

OUVRAGES ANGLAIS.

Parliamentary. Electric Lighting... Rapport sur l'éclairage électrique. 4f,35.

—— *Railway returns*... Rapports sur les chemins de fer pour 1878. 1f,50.

—— *Railways*... Chemins de fer, freins continus. Rapports. 0f,85.

—— *Id*.... Rapports sur les accidents pour 1878. 0f,40.

—— *Id*.... Rapport sur le trafic en 1878. 0f,30.

SALMON. *Treatise on conic sections*. Traité des sections coniques, 6e *éd*. In-8°, 410 p. 15 fr.

—— *Treatise on higher*... Traité des courbes planes supérieures. 3e *éd*. In-8°, 416 p. 15 fr.

HUGHES. *Outlines of geology*... Notes géologiques sur l'Irlande. 3e *éd*. In-8°, 138 p. 3f,75.

Manual of the geology... Manuel de la géologie de l'Inde et carte par les officiers du *Geological Survey*. In-8°. 3 vol. 20 fr.

SCHULZE. *On periodical change*... Sur les variations périodiques du magnétisme terrestre. Shanghaï. In-8°.

RIANO. *The industrial arts*... Les arts industriels en Espagne. In-8°, 278 p. 5 fr.

HIGGS. *Electric transmission*... Transmission électrique de la force, son état actuel et ses avantages. In-8°, 96 p. 3f,75.

R. HUNT. *Mineral statistics*... Statistique de l'industrie minérale du Royaume-Uni pour 1878. In-8°. 2f,50.

DANA. *Manual*... Manuel de minéralogie et de géologie. 3ᵉ *éd.* In-8°. 9ᶠ,35.

STERRY HUNT. *Chemical and geological*... Essais chimiques et géologiques. 2ᵉ *éd.*, revue et augmentée. In-8°, 464 p. 15 fr.

READE. *Chemical denudation*... Dénudation chimique en rapport avec le temps géologique. In-8°, 68 p. 3ᶠ,10.

WANKLYN and CHAPMAN. *Water analysis*. Analyse de l'eau. 5ᵉ *éd.* In-8°. 6ᶠ,25.

PATERSON. *Electric signals*. Signaux électriques. In-8°, 48 p. 0ᶠ,60.

AYRTON. *Electricity as*... L'électricité comme force motrice. In-8°.

DENTON. *Our planet*... Notre planète, son passé et son avenir. 8ᵉ *éd.* In-12, 344 p. 9ᶠ,35.

GIBBS. *Silver and gold*. L'argent et l'or. In-8°, 41 p. 1ᶠ,25.

DITTMAR. *Analytical chemistry*. Chimie analytique. In-12, 86 p. 1ᶠ,85.

HAAST. *Geology of the provinces*... Géologie des provinces de Canterbury et Westland (Nouvelle-Zélande). In-8°, 496 p., 15 cartes et coupes et 9 planches. 26ᶠ,25.

HIGGINS. *The earth, its physical*... La terre, ses conditions physiques et ses phénomènes les plus remarquables. 7ᵉ *éd.* In-12. 3ᶠ,10.

JORDAN. *A geological section*... Coupe géologique montrant l'ordre de superposition et l'épaisseur maxima approchée des couches sédimentaires dans les Iles Britanniques. In-8°. 5 fr.

NICHOLSON. *On the structure and affinities*... Sur la structure et les affinités des coraux tabulaires de la période paléozoïque. In-8°, 35 p. 26ᶠ,25.

—— *A manual*... Manuel de paléontologie à l'usage des étudiants. 2ᵉ *éd.*, revue et considérablement augmentéè. 2 vol. In-8°, 1.040 p. 52ᶠ,50.

OLDHAM. *Geological glossary*... Glossaire géologique à l'usage des étudiants. In-8°, 62 p.

ROSCOE and SCHORLEMMER. *A treatise*... Traité de chimie. Vol. II : métaux, part. 2. In-8°, 560 p. 22ᶠ,50.

DOYLE. *Tin mining*... Mines d'étain de Larut. In-8°, avec cartes. 4ᶠ,35.

JONES. *The treasures*... Les richesses du sol : mines, minerais et métaux. *Nouv. édition*. In-8°. 6ᶠ,25.

REYNOLDS. *Locomotive engine*... Conduite des machines locomotives. 4ᵉ *éd.*, considérablement augmentée. In-8°, 270 p. 5ᶠ,60.

STEPHENS. *Science of railway*... Science de la construction des chemins de fer. In-12. 5 fr.

GARNETT. *Treatise on...* Traité de dynamique élémentaire. 2ᵉ *éd.*, revue et augmentée. In-8°, 300 p. 7ᶠ,50.

SCHORLEMMER. *The rise...* Origines et développements de la chimie organique. In-8°, 124 p. 3ᶠ,10.

DAVIES. *A treatise...* Traité des minerais métalliques et de leur exploitation. In-8°, 446 p. 15ᶠ,60.

GREEN. *Geology...* Géologie, à l'usage des étudiants; géologie physique. *Nouv. édition.* In-8°, 555 p. 15ᶠ,60.

SCUDDER. *Catalogue...* Catalogue des ouvrages scientifiques périodiques de tous les pays. In-8°, XII-158 p. 25 fr.

FLOWER. *History of the trade...* Histoire du commerce de l'étain. In-8°, 214 p. 13ᶠ,10.

WATT. *Electro-metallurgy...* Traité pratique d'électro-métallurgie. 7ᵉ *éd.*, revue et augmentée. In-12, 242 p. 3ᶠ,75.

LEBOUR. *Catalogue...* Catalogue de la collection de plantes fossiles de Hutton. In-8°. 12 fr.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

Smithsonian Institution. Documents... Documents relatifs à son origine et à son histoire. Washington. In-8°. XIV-1013 p.

POOR. *Manual of the railroads...* Manuel des chemins de fer des États-Unis pour 1879-80. 30 fr.

CRAIG. *Elements of the mathematical...* Éléments de la théorie mathématique du mouvement des fluides. New-York. In-18. 3ᶠ,10.

EDDY. *Thermodynamics.* Thermodynamique. New-York. In-18, 182 p. 3ᶠ,10.

ADAMS. *Notes on railroad...* Notes sur les accidents de chemins de fer. In-12. 8ᶠ,10.

OUVRAGES ALLEMANDS.

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. v. Fehling*, avec le concours de Bunsen, Fittig, Fresenius, etc. Brunswick. In-8°. Livr. 31 (T. III, p. 385-480), 3 fr.

KOLBE. *Kurzes Lehrbuch...* Petit traité de chimie organique. Fasc. 1. Brunswick. In-8°, 272 p. 3ᶠ,75.

MARTINI und CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet...* Collection systématique de coquilles. Publié et composé par

H. C. Küster, en collaboration avec Philippe, L. Pfeiffer, Dunker et E. Rœmer, continué après sa mort par *W. Kobelt* et *H. C. Weinkauff*. Nüremberg. In-4°. Livraisons 282-284. 158 p., 17 pl. Chaque livraison 11f,25.

v. Petrino. *Die Entstehung*... La formation des montagnes expliquée par des considérations dynamiques. Vienne. In-8°, VII-74 p. 2 fr.

Riecke. *Ueber das ponderomotorische*... Sur la loi pondéromotrice élémentaire de l'électro-dynamique. Gœttingue. In-4°, 69 p. 3 fr.

Heer. *Die Urwelt*... Le monde primitif de la Suisse. 2e éd., revue et augmentée. Zürich. In-8°. Livraisons 3 à 8 : p. XIX et 161-713. Chaque livraison : 2f,50.

Hoernes und Auinger. *Die Gasteropoden*... Les gastéropodes des couches marines des 1er et 2e étages méditerranéens miocènes de la monarchie austro-hongroise. I. Conus. Vienne. In-fol., 52 p., avec 6 pl. 19f,50. (Extr. des *Abhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt.*)

Lang. *Eratische Gesteine*... Description des roches erratiques du duché de Brême. Gœttingue. In-8°, IV-198 p. 5 fr. (Extr. des *Abhandl. v. naturwiss. Vereine zu Bremen*).

Rolle. *Mikropetrographische*... Contributions à la pétrographie microscopique des Alpes rhétiennes. Wiesbaden. In-8°, 45 p. 2 fr.

Roth. *Allgemeine und chemische*... Géologie générale et chimique. Berlin. In-8°. Tome I, VIII-633 p. 20 fr.

Scheffler. *Die Naturgeschichte*... L'histoire naturelle et sa liaison avec les principes des sciences abstraites. Supplément à la 2e partie : chaleur et électricité. Leipzig. In-8°, V-227 p. et 1 pl. 6f,25.

Sohncke. *Entwickelung*... Développement d'une théorie de la structure cristalline. Leipzig. In-8°, VIII-248 p., av. 55 fig. et 5 pl. 10 fr.

Balling. *Die Probirkunde*... La docimasie. In-8°, XXVI-480 p. 18f,75.

Meisner. *Die neuesten Vorschriften*... Les nouvelles ordonnances sur l'établissement, la conduite et la surveillance des chaudières à vapeur en Prusse. Leipzig. In-8°, X-164 p. 5 fr.

v. Pichler. *Die Materialprüfungs-Maschinen*... Les machines à éprouver les matériaux, à l'Exposition universelle de Paris en 1878. Leipzig. In-8°, IV-58 p., avec 8 pl. 7f,50.

Thalén. *Untersuchungen*... Recherche des gîtes de minerais de fer à l'aide d'observations magnétiques (extr. par *B. Turley* des *Annales de l'Iern-Kontoret*). Leipzig. In-8°, III-85 p., avec 1 pl. 4f,50.

UHLAND. *Die Corliss- und Ventil-Dampfmaschinen.* Les machines à vapeur système Corliss et système à soupapes. Leipzig. In-4°. 5° et 6° livraisons : p. 161-240, avec 32 pl. Chaque livraison : 15 fr. 7° livraison; p. IV et 241-284, avec 9 pl. 10 fr.

—— *Leistungen und Fortschritte...* Situation et progrès de la construction des moteurs, régulateurs, et organes de machines. Leipzig. In-8°, XVI-176 p. avec 5 pl. 7f50. (Extr. du *Jahrb. d. Maschinentechnik.*)

DROSSBACH. *Ueber Kraft...* De la force et du mouvement au point de vue de la théorie des ondulations lumineuses et de la théorie mécanique de la chaleur. Halle. In-8°, VIII-120 p. 3 fr.

NICHOLS. *Ueber das von glühendem...* Sur la lumière émise par le platine incandescent. Gœttingue. In-8°, 58 p. et 4 pl. 1f,90.

Palæontographica. Beiträge... Contributions à l'histoire naturelle des temps primitifs. Publié par *W. Dunker* et *A. Zittel.* Cassel. In-4°. T. XXVI (2° série, t. II), livraisons 1 à 3, p. 1-68, 16 pl.; suppl. III; 3° livr. 4° fasc. p. VII et 133-195, 12 pl. 112f,50.

RAMMELSBERG. *Die chemische Natur...* La nature chimique des météorites. Berlin. In-4°, 64 p. 3f,75. (Extr. des *Abhandl. d. k. Akad. d. Wissenschaften zu Berlin.*)

TELLER. *Der geologische Bau...* La constitution géologique de l'île d'Eubée. Vienne. In-4°, 54 p. et 3 pl. 5 fr. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

—— *Geologische Beschreibung...* Description géologique du sud-ouest de la Thessalie. Vienne. In-4°, 28 p. 2 fr. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

HERRMANN. *Zur graphischen Statik...* Sur la statique graphique des organes de machines. Brunswick. In-4°, VII-74 p., avec un atlas de 8 pl. 7f,75.

FRITSCH. *Fauna der Gaskohle...* Faune des charbons à gaz et des calcaires de la formation permienne de Bohême. T. I, fasc. 1. Prague. In-4°, 92 p. avec 12 pl. 40 fr.

E. GEINITZ. *Das Erdbeben...* Le tremblement de terre d'Iquique du 9 mai 1877 et la vague résultante du grand Océan. Halle. In-4°, 62 p., 3 pl. 6f,25. (Extr. des *Nova Acta d. K. L. C. D. Akad. d. Naturforscher.*)

HÖFER. *Gletscher- und Eiszeit...* Études sur les glaciers et l'époque glaciaire. Vienne. In-8°, 37 p., 1 pl. 1f,25. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

MEYER, *Ueber die von geraden...* Sur les groupes d'isothermes formées par des lignes droites et par des coniques. Zürich. In-4°, 60 p., 14 pl. 6f,25.

Ritter. *Anwendungen...* Applications de la théorie mécanique de la chaleur au problème cosmologique. Hanovre. In-8°, VI-74 p. 2f,50.

Hartmann. *Untersuchung...* Étude de quelques courbes engendrées par le roulement des ellipses. Marbourg. In-4°, 36 p., 2 pl. 2f,50.

Inostranzeff. *Studien über...* Études sur les roches métamorphiques du gouvernement d'Olonetz. Leipzig. In-8°, VIII-275 p., avec 3 pl. et une carte géol. 12f,50.

Al. Naumann. *Die Grundlehren...* Les principes de la chimie. Heidelberg. In-8°, VIII-226 p. 7f,50.

Neumayr. *Zur Kenntniss...* Contributions à la faune du lias inférieur des Alpes septentrionales. Vienne. In-4°, 46 p., 7 pl. 20 fr. (Extr. des *Abhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt.*)

Spitzer. *Integration...* Intégration d'équations différentielles partielles. Vienne. In-8°, IV-93 p. 4f,50.

Zittel. *Handbuch...* Manuel de paléontologie, publié avec la collaboration de *W. P. Schimper*. Münich. In-8°. T. II. (Paléontologie végétale), 1re livraison; p. 1-152, avec 117 fig. 8f,75.

Grashof. *Theoretische...* Cours théorique de machines. Leipzig. In-8°. T. II, 2e livraison, p. 193-384. 6 fr.

Meissner. *Die Hydraulik...* L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. Iéna. In-8°. T. II : les turbines et les roues hydrauliques. 5e fasc., p. 229-288, avec 8 pl. 3f,75.

Ziese. *Ueber neuere...* Sur de nouvelles machines de bateaux. Kiel. In-8°, 150 p., 2 pl. 5 fr.

Barrande. Brachiopodes. Études locales. Extraits du système silurien du centre de la Bohême. Vol. V : Brachiopodes. Prague. In-8°, XIV-376 p., 7 pl. 12f,50.

v. Groddeck. *Die Lehre...* L'étude des gîtes de minerais. Leipzig. In-8°, XII-351 p., avec 119 fig. 10 fr.

Hankel. *Elektrische Untersuchungen...* Recherches électriques : sur les propriétés photo-thermoélectriques du spath-fluor. Leipzig. In-4°, 79 p., 3 pl. 2f,50. (Extr. des *Abhandl. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften.*)

Hasenclever. *Ueber die Beschädigung...* Sur les dommages causés à la végétation par les gaz acides. Berlin. In-8°, 14 p., 5 pl. 3f,50. (Extr. de *Die chemische Industrie.*)

Koebler. *Ueber die Integration...* Sur l'intégration, au moyen de fonctions explicites, des équations différentielles linéaires homogènes d'ordre *m*. Leipzig. In-8°, 30 p. 1f,25.

Pauly. *Einführung...* Introduction à l'analyse chimique quantitative. Brunswick. In-8°, VIII-227 p., avec 23 fig. 5 fr.

PFANNSTIEL. *Ueber den Einfluss*... De l'influence de la rotation de la terre sur la trajectoire dé points matériels libres. Schmalkalden. In-8°, 60 p. 1f,90.

PLANCK. *Ueber den zweiten*... Sur le deuxième principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur. Münich. In-8°, 61 p. 1f,50.

SCHEIBNER. *Zur Reduction*... Sur la réduction des intégrales elliptiques à une forme réelle. Leipzig. In-4°, II-143 p. 6f,25. (Extr. des *Abhand. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften.*)

SCHÜLER. *Lehrbuch*... Traité de géométrie analytique du point, de la droite et des coniques. Münich. In-8°, XI-237 p., 4 pl. 6 fr.

BR. KERL. *Probirbuch*... Art des essais, guide pour l'examen docimastique des minerais, produits d'art et d'usines, par voie sèche et humide. Leipzig. In-8°, XII-150 p., avec 69 fig 6f,25.

NITZSCH. *Ueber Fangvorrichtungen*... Sur les parachutes dans les puits d'extraction de mines. Berlin. In-4°, 62 p., 23 pl. 12f,50.

POLLACKSEK. *Der Secundärbetrieb*... L'exploitation secondaire des lignes à voie normale. Zürich. In-8°, 103 p. 1f,65.

ZETSCHE. *Handbuch*... Manuel de télégraphie électrique. Berlin. In-8°. T. IV, 3e livraison, p. 321-512. 6f,75.

FUCHS. *Ueber die*... Sur les fossiles tertiaires rapportés de Perse par E. Tietze. Vienne. In-4°, 13 p., 6 pl. 3f,75. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

GOLDSTEIN. *Ueber die*... Sur la phosphorence produite par des étincelles électriques. Vienne. In-8°, 6 p. 0f,25. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

HAHN. *Die Urzelle*... La cellule primitive, avec la preuve que le granite, le gneiss, la serpentine, le talc, certains grès, le basalte, les météorites et le fer météorique sont constitués par des plantes. Tubingue. In-8°, VII-71 p. 7f,50.

HEIM. *Ueber das Verwittern*... Sur la décomposition des roches. Bâle. In-8°, avec 17 fig. 1f,90.

HILBER. *Neue Conchylien*... Nouvelles coquilles des couches méditerranéennes de la Styrie moyenne. Vienne. In-8°, 49 p. 3 fr. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

NOETLING. *Ueber das Vorkommen*... Sur l'existence de marmites de géants dans le muschelkalk de Rüdersdorf. Berlin. In-8°, 16 p., 2 pl. 2f,50. (Extr. du *Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesellschaft.*)

OEKONOMIDES. *Einige Worte*... Quelques mots sur l'état présent de l'électricité et du magnétisme. Tubingue. In-8°, 40 p. 1f,70.

REMMIS. *Die Frage...* La question de la variabilité du diamètre du soleil. Leipzig. In-8°, 32 p. 1f25. (Extr. de *Sirius*.)

V. RATH. *Naturwissenschaftliche...* Études d'histoire naturelle, souvenirs de l'Exposition universelle de Paris en 1878. (Sections étrangères.) Bonn. In-8°, XIV-442 p. 6f,25.

FOEPPL. *Ansgewählte Capitel...* Chapitres choisis de la théorie mathématique des constructions. Leipzig. In-8°, 1re part.; VIII-135 p., 4 pl. 7,50.

Handbuch... Manuel des connaissances de l'ingénieur, en 4 vol.; publié par *E. Heusinger von Waldegg*. Leipzig. In-8°. T. I, 2e partie, 1re livraison; p. 417-880, 28 pl. T. III, 2e partie. p. XVI, et 481-1158, 38 pl. 60 fr.

LAZARINI. *Die Strassen-Vicinalbahnen...* Les chemins de fer vicinaux sur routes avec exploitation par locomotives. Vienne. In-8°, 118 p., 4 pl. et 36 fig. 5 fr.

HEINZERLING. *Der Eisenhochbau...* Les constructions en fer actuelles. Aix-la-Chapelle. In-fol. Fasc. 1 et 2. VI-68 p., avec 139 fig. et 6 pl. VIII-49 p., avec 45 fig. et 8 pl. 34f,25.

LANGE. *Das Holz...* Le bois, employé comme matériaux de construction. Holzminden. In-8°. 1re partie; 160 p., 10 pl. 3f,25.

PICK. *Die Mineralsäuren...* Les acides minéraux. Vienne. In-8°, IV-398 p. 6f.25.

PLENKNER. *Ueber die Bewegung...* Sur le mouvement de l'eau dans les cours d'eau naturels. Leipzig. In-4°, IV-78 p., avec 5 pl. et 4 fig. 12f,50.

RITTER. *Wasser...* L'eau et la glace; propriétés, emploi, purification de l'eau; conservation et emploi de la glace. Vienne. In-8°. IV-310 p., avec 35 fig. 5 fr.

J. GÄNGL V. EHRENWERTH. *Abhandlungen...* Mémoires sur le procédé Thomas Gilchrist pour le traitement des fontes phosphorescentes au Bessemer. Leoben. In-8°, VI-102 p. (Extr. de l'*OEstrr. Zeitsch. f. Berg- und Hüttenwesen*.

OUVRAGES RUSSES.

DOMEJKO. *Rzut oka na Kordyliery...* Coup d'œil sur les Cordillères du Chili et leurs gîtes métallifères. Cracovie. In-8°, 114 p. 5 fr.

MOKIEWSKI-SOBOW. Esquisse géologique de la formation houillère du cercle de Bendrin dans le gouvernement de Pétrikoff, dans la Pologne russe. Varsovie. In-8°, 56 p. 2f,90.

PAROMENSKI. Leçons de calcul intégral et application à la géométrie. Kronstadt. In-fol. IV-160 p. 15 fr.

DEICHMANN. La recherche de l'or par sondages, l'exploration des gîtes aurifères, et l'extraction du minerai d'or. Saint-Pétersbourg. In-8°, 48 p., 2 pl. 12f,50.

GOLUBEW et JERAKOW. Le matériel roulant des chemins de fer des mines de l'Oural. Saint-Pétersbourg. In-fol., avec 24 pl. 60 fr.

OUVRAGES ITALIENS.

COSSA. *Sul serpentino di Verraye...* Sur la serpentine de Verraye dans la vallée d'Aoste. Rome, In-4°, 8 p. et 4 pl. (Extr. des *Atti d. R. Accad. dei Lincei.*)

Enciclopedia di chimica... Encyclopédie de chimie scientifique et industrielle, ou dictionnaire général de chimie; ouvrage original dirigé par *F. Selmi*. Turin. Petit in-4°. Vol. XI, fasc. 12, et 1 du vol. I de *Complément et supplément*. Chaque fascicule : 1f,60.

GEMMELLARO. *Sui fossili...* Sur les fossiles du calcaire cristallin des montagnes de Casale et de Belcampo dans la province de Palerme (Sur quelques faunes jurassiques et liasiques de Sicile, fasc. 6). Palerme. In-4°, avec planches.

LAWLEY. *Resti fossili...* Débris fossiles de sélachien trouvés à Ricava près Santa Luce dans les collines pisanes. Pise. In-4°, 8 p.

GENOVESI. *Notizie sulle acque...* Notice sur les eaux thermo-minérales et sur la grotte de San Calogero aux Lipari. Messine. In-16, 32 p. et 1 planche.

GIANNETTI. *Lavori di chimica...* Travaux de chimie exécutés de 1876 à 1878 dans le laboratoire de chimie générale de l'Université royale de Sassari. Sassari. In-8°, 40 p. et 1 planche.

TARAMELLI. *Appunti geologici...* Notes géologiques sur la province de Salerne. Salerne. In-8°, 44 p.

ECCHER. *Sulle forze...* Sur les forces électro-motrices développées par les dissolutions salines à divers degrés de concentration avec les métaux qui en constituent la base. Florence. In-8°, 26 p. et 2 planches.

DENZA. *Leggi delle variazioni...* Lois des variations de l'électricité atmosphérique. Turin. In-8°. 10 p. (Extr. des *Atti d. R. Accad. delle scienze di Torino.*)

ISSEL. *Appunti geologici...* Contributions géologiques : description

de deux dents d'éléphant, recueillies dans la Ligurie occidentale. Gênes. In-8°, 16 p.

SARTORIO. *Il colle...* La colline de S. Colombano et ses fossiles. (Publication du Lycée *Forteguerri* de Pistoïa). Pistoïa. In-4°, 84 p. et 1 pl.

VENTURI. *Teoria...* Théorie du mouvement de la terre autour de son centre de gravité (Public. du Lycée *Volta*). Côme. In-8°. CXXXII-40 p. et 1 pl.

PERRONE. *El pliocene...* Le pliocène de l'Oltrepo de Pavie, observations stratigraphiques et paléontologiques. Milan. In-8°, 114 p., avec une carte géologique.

REGAZZONI. *Di alcuni nuovi...* Sur quelques nouveaux objets préhistoriques recueillis dans les stations du lac de Varese. Côme. In-8°, 9 p., avec pl. (Extr. de la *Rivista archeolog.* de la province de Côme.)

Q. SELLA. *Delle forme cristalline...* Sur les formes cristallines de l'anglésite de Sardaigne. Rome. In-4°, 10 p. (Extr. des *Atti d. R. Accad. dei Lincei.*)

D'OVIDIO. *Estensione di alcuni...* Extensions de quelques théorèmes sur les formes binaires.

L'eruzione dell' Etna... L'éruption de l'Etna du 26 mai 1879 : rapport de la Commission nommée par les Ministres de l'agriculture, de l'industrie et du commerce, et de l'instruction publique. Rome. In-8°, 14 p.

FERRETTI. *Scoperte di una fauna...* Découverte d'une faune et d'une flore miocène à facies tropical à Montebobbio. Milan. In-8°, 16 p.

GORINI. *Dei metalli preziosi...* Des métaux précieux (or, argent et platine); extraction, fusion, etc. Milan. In-16, 196 p., avec vignettes.

—— *Delle pietre preziose...* Des pierres précieuses : classification, histoire, etc. Milan. In-16, 138 p.

POZZI. *Sopra alcune varietà...* Sur quelques variétés de la protogine du Mont-Blanc. Turin. In-8°, 14 p. (Extr. des *Atti d. R. Accad. delle scienze di Torino.*)

Annali del Ministero... Annales du Ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce. Exposition universelle de 1878 à Paris. Rapports des jurés italiens. — Classes 16 et 43. Géologie, rapport de *F. Giordano*. In-8°. 54 p. — Classe 50. Matériel et procédés des industries minière et métallurgique. In-8°, 264 p. et 25 pl. Rome.

GOIRAN. *Meteorologia endogena...* Météorologie interne : les dé-

bordements du lac de Garde et les tremblements de terre du Monte Baldo. Vérone. In-32, 38 p. 0f,50.

MARINONI. *Ulteriori osservazioni*... Observations ultérieures sur l'éocène du Frioul. Milan. (Extr. des *Atti d. Societa italiana di scienze naturali.*)

PANZANI. *La quadratura*... La quadrature du cercle, approuvée par l'Académie R. des Lincei. Rome. In-16. 16 p.

PIATTI. *Compendio di storia*... Traité d'histoire naturelle, à l'usage des écoles secondaires. 2e *éd.* 1re partie : Minéralogie, physique du globe et géologie. Turin. In-16. VI-348 p., et 11 pl. 3 fr.

TOMMASI. Sur la non-existence de l'hydrogène naissant ; 1re partie : réduction du chlorate de potasse. Florence. In-8°, 8 p. (Extr. du journal *les Mondes.*)

BIDOU. *Ligniti toscane*... Les lignites de Toscane : considérations sur les tarifs de transport par chemins de fer et sur les appareils de combustion. Sienne. In-8°, 16 p. et 2 pl.

—— Les restes de l'âge de la pierre dans la province de Chieti (Abbruzzes). Sienne. In-8°, 8 p. et 2 pl.

CANAVARI. *Sui fossili*... Sur les fossiles du lias inférieur de l'Apennin central. Pise. In-4°, 32 p. et 1 pl. (Extr. des *Atti d. Societa Toscana d. scienze naturali.*)

CAPELLINI. *Balenottera fossile*... Balénoptère fossile des Colombrie, près de Volterra. Rome. In-4°, 8 p. (Extr. des *Mem. d. R. Accad. dei Lincei.*)

—— *Breccia ossifera*... Brèche ossifère de la caverne de Santa Teresa sur le bord oriental du golfe de la Spezia. Bologne. In-4°, 26 p., et 3 pl. (Extr. des *Mem. d. Accad. di Bologna.*)

—— *Gli strati a congerie*... Les couches à congéries et les marnes compactes miocènes des environs d'Ancône. Rome. In-4°, 26 p. et 3 pl. (Extr. des *Mem. d. R. Accad. dei Lincei.*)

FADDA e OLIVETI. *La locomotiva*... La locomotive, sa construction et art de la conduire. Part. I : De la chaudière. Turin. In-8°, XII-244 p., avec 162 fig. et 4 pl. 3 fr.

MANCINI. *La trisezione*... La trisection de l'angle. Rome. In-8°, 12 p. et 1 pl.

RUBBINI. *Calore e movimento*... Chaleur et mouvement ; mémoire. Bologne. In-16, 80 p.

BONATI. *Tavola dei momenti*... Table des moments résistants des poutres en fer. Padoue. In-4°, 6 p.

DE GIORGI. *Note geologiche*... Notes géologiques sur la Basilicate Lecce. In-8°, 152 p., avec pl. 5 fr.

SANG. Nouveau calcul des mouvements elliptiques. Turin. In-4°, 16 p. (Extr. des *Mem. d. R. Accad. d. scienze di Torino.*)

FORNARI. *Della costituzione...* De la constitution et des propriétés des corps. Naples. In-16, 70 p.

GILL. *Lezioni elementari...* Leçons élémentaires de machines à vapeur. 2e *éd.*, revue. Fasc. VI. Palerme. In-8°, p. 401 à 468. 2 fr.

Ministero di agricoltura... Ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce. Rapport sur le service des mines en 1877. Rome. In-8°, 168 p.

MOLTENI. *Trattato di fisica...* Traité de physique nouvelle. Livre second. Milan. In-8°, 108 p.

SECCHI. *Lezioni elementari...* Leçons élémentaires de physique terrestre. In-8°, 223 p. et 9 pl. 6 fr.

SILVESTRI. *Un viaggio...* Un voyage à l'Etna. Turin. In-16, VII-252 p. et 1 planche. 3f,50.

DELVECCHIO. *Lezioni...* Leçons de trigonométrie, et applications. Part. I. Rome. In-8°, VIII-176 p. 5f,25.

ANNALES
DES MINES

REVUE

DES

PROGRÈS RÉCENTS DE L'EXPLOITATION DES MINES

ET DE

LA CONSTRUCTION DES MACHINES A VAPEUR

Par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE,
Ingénieur en chef des mines,
Professeur d'exploitation des mines et de machines à l'École des mines.

PREMIÈRE PARTIE.

EXPLOITATION DES MINES.

§ I. — Recherches de mines.

Emploi de la boussole. — Lorsqu'il s'agit de gîtes magnétiques la boussole peut rendre pour leur découverte d'utiles services. Déjà, à la fin du siècle dernier, Jars avait indiqué dans ses *Voyages métallurgiques* que les ingénieurs suédois traçaient sur le terrain une méridienne par des procédés astronomiques, et la parcouraient en notant attentivement les variations de la déclinaison. Les perturbations s'accusaient d'une manière spéciale dans le voisinage des gîtes, et permettaient, en resserrant les observations, d'arriver à une détermination approximative de leur position.

Tout récemment, M. de Thalon vient de systématiser l'emploi de la boussole d'une manière ingénieuse (1). On mesure la composante horizontale de l'intensité magnétique à l'aide d'une boussole de

(1) F. Gauthier, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, 2e série, tome IV, page 461.

déclinaison et d'un aimant mobile que l'on met, par rapport à elle, dans une situation toujours identique. On observe la déviation apportée par cet aimant dans la déclinaison naturelle qui est marquée par l'aiguille lorsqu'on emporte le barreau magnétique à une grande distance. On trace ainsi des lignes d'égale intensité qui, dans le voisinage d'un gîte, prennent une forme caractéristique consistant en deux systèmes de courbes fermées concentriques autour de deux foyers assez nettement indiqués. Ces courbes s'ouvrent de plus en plus en s'éloignant du foyer et passent d'un groupe à l'autre par une ligne sans courbure. Le gisement se trouve à la rencontre de cette dernière avec la droite qui joint les deux foyers. L'auteur donne de ces caractères une explication théorique qu'il serait trop long de développer ici.

M. l'ingénieur des mines Sauvage (1) a mentionné des recherches analogues effectuées à l'aide de l'aiguille aimantée dans la région du lac Supérieur. Les géomètres chargés de cette exploration employaient une boussole d'inclinaison lestée de manière à se tenir horizontale sous l'action de la terre seule et s'inclinant par l'influence du gîte. On se guidait dans la recherche en mesurant à la fois la déviation angulaire et le nombre d'oscillations par minute, pour juger de la force perturbatrice et, par suite, des probabilités sur la distance et l'importance du gisement.

Engins de sondage. — Le sondage reste toujours le plus puissant moyen de recherches. Ses procédés ne cessent de se perfectionner. En ce qui concerne les tiges de sonde, M. Van Dijk, ingénieur en chef des mines du gouvernement néerlandais, associe à une fourrure de sapin une tige centrale de fer qui donne plus de sécurité que le bois, notamment pour la torsion. Le revêtement est destiné à procurer plus de raideur en augmentant les dimensions transversales, et à diminuer la densité moyenne effective dans l'eau par un plus grand déplacement (2).

Le joint à chute libre constitue l'amélioration la plus importante qui ait été apportée depuis longtemps à l'art du sondeur. On sait que le point de départ de cette innovation a été la coulisse d'Œynhausen. Je me contente de citer à sa suite les systèmes Charles-François, Dehulster, Esche (3), Gault, Huchet (4), Kind,

(1) *Annales des mines*, 7e série, tome VIII, pages 3 et 9.
(2) Lippmann, *L'art du sondage*, progrès et résultats; très-intéressante conférence faite le 5 août 1878 devant le Congrès du génie civil; page 9.
(3) Callon, *Cours d'exploitation des mines*, tome I, page 108.
(4) A l'Exposition universelle de 1878.

Sigmondi, Van Dijk, et surtout l'ingénieux appareil de Laurent et Degousée. M. Dru n'en a pas introduit moins de trois différents. Celui qu'il appelle *joint à réaction* est bien connu et a servi à effectuer les forages de la Butte-aux-Cailles et du boulevard de l'Hôpital. L'outil à chute libre *par point d'appui* agit sans choc, au contraire du précédent, et convient mieux pour les sondages à grande section. Enfin, la coulisse *à pression d'eau* repose sur une donnée nouvelle et se distingue nettement de tous les autres appareils de ce genre. Son principe essentiel consiste dans l'emploi d'un cylindre foncé par le bas, ouvert à la partie supérieure, et composé de deux travées de diamètres un peu différents dont la plus large est placée au-dessous de l'autre. Un piston obturateur porte le trépan à l'extrémité de sa tige qui traverse le fond du cylindre. Quand celui-ci est à bas, l'obturateur en occupe la partie supérieure. La machine enlevant vivement la sonde, l'eau a trop de peine à s'échapper entre le piston et le petit cylindre, d'un diamètre presque égal, pour que ce piston puisse s'y mouvoir bien vite. Aussi le trépan se trouve-t-il enlevé du même coup. Mais quand l'obturateur finit par arriver à la travée la plus large, le jeu se trouve alors assez grand pour que le piston ne rencontre plus la même résistance, et le trépan tombe en chute libre.

M. Lippmann a exposé au Champ-de-Mars le matériel qui lui sert à forer les puits de 4 à 5 mètres aussi bien que les trous de sonde de 4 centimètres de diamètre. Il serait impossible de détailler ici toutes les innovations introduites par cet habile praticien. Je me contenterai de décrire trois des plus récentes. En premier lieu un élargisseur. Il est formé de deux fortes gouges d'acier, mobiles autour d'un axe horizontal et comprises entre deux plaques de fer épaisses, lesquelles forment le corps de l'outil et se réunissent par leur extrémité supérieure en une douille filetée qui sert d'écrou à une vis à laquelle s'adapte la tige de sonde. La vis se prolonge par un arbre cylindrique jusqu'entre les deux gouges dont les tranches intérieures convergent en descendant l'une vers l'autre. Quand l'outil est arrivé sous la base du tubage, il suffit de faire faire à la sonde cinq ou six tours pour que la vis descende dans son écrou en poussant l'arbre, dont l'extrémité inférieure, en glissant entre les deux tranches inclinées des gouges, écarte celles-ci progressivement jusqu'au diamètre voulu, qu'elles conserveront pendant toute la durée de la percussion. En détournant la sonde, c'est-à-dire la vis, l'outil se referme quand il faut le remonter à travers le tube.

J'indiquerai en second lieu un coupe-tuyaux d'une grande précision, qui permet d'effectuer la section des tubes à toutes profon-

deurs dans des conditions supérieures à ce qui se faisait jusqu'à ce jour. Il est à vis et encliquetage, et consiste en un véritable crochet de tour dont la tige d'acier glisse à frottement doux dans une mortaise carrée et horizontale ménagée dans un manchon cylindrique en fonte qui forme porte-outil. Ce manchon tient à une vis à gauche reliée à la sonde et munie à son extrémité inférieure d'une sorte de toupie, laquelle, en descendant par la rotation de la vis, fait sortir insensiblement la pointe du crochet d'acier. Le manchon est garni, à sa partie inférieure, d'un encliquetage qui, à la façon des clefs Breguet, fonctionne de la manière suivante. Quand on tourne la sonde de droite à gauche, l'encliquetage entraîne le manchon, sans que la vis puisse se mouvoir, dans le sens suivant lequel l'outil détache un copeau dans la tôle. Au tour suivant, le crochet ne mordant plus, on détourne la sonde d'un sixième de tour, c'est-à-dire d'une dent de l'encliquetage. Le manchon, arrêté par un petit galet excentrique, ne se laisse pas détourner, la vis à gauche descend d'un sixième de son pas avec son cône, qui fait avancer la pointe du crochet d'environ un dixième de millimètre sur la profondeur duquel il va mordre de nouveau en faisant encore un tour en avant, et ainsi de suite jusqu'à l'entière section de la tôle.

Citons enfin l'éprouvette Lippmann, destinée à recueillir à toutes les profondeurs possibles l'eau dont on veut connaître exactement la composition. Elle se compose d'une sorte de carcasse en fer plat dans l'intérieur de laquelle se trouve suspendu, à l'aide de deux tourillons horizontaux placés un peu au-dessus de la moitié de sa hauteur, un cylindre vertical fermé à chacune de ses extrémités par un clapet qui s'ouvre de bas en haut. Dans sa position normale, les deux fonds sont hermétiquement clos. L'appareil est descendu à la profondeur voulue à l'aide d'une corde attachée à la partie supérieure de la carcasse. Mais avant de l'introduire dans le trou de sonde, on a fait faire un demi-tour au cylindre et on le descend la tête en bas avec ses deux clapets ouverts. Il se laisse donc traverser par l'eau qui remplit le puits. Pour le faire basculer, au moment où il arrive au point intéressant, on a passé dans deux brides adaptées à cet effet sur la moitié supérieure de la carcasse, une cravate d'une certaine largeur d'un papier fort qui ne se détrempe que lentement dans l'eau. Ce papier, enveloppant la partie correspondante du cylindre, le tiendra vertical, mais renversé, jusqu'à ce qu'on déchire la cravate par quelques secousses imprimées à la corde. Le cylindre se renverse alors et les clapets se referment en emprisonnant l'eau du point en question, laquelle ne pourra plus

se mélanger à celle des parties supérieures pendant la remontée, puisque le sens du mouvement tend alors à appliquer les soupapes sur leurs siéges. Cet ingénieux appareil se complète par deux petits robinets placés sur les deux fonds et permettant de transvaser l'eau du récipient à l'abri du contact de l'air.

MM. Glorieux et Deutscher ont construit un équipage de sonde destiné principalement à écarter les dangers de déviation. Le trépan est deux ou trois fois plus lourd que dans les anciens modèles du même diamètre. Il est surtout caractérisé par un guidage plus rigoureux obtenu par l'emploi d'un nombre variable de dents repasseuses disposées en croix et échelonnées le long d'une tige qui atteint 5 mètres de longueur. L'appareil à chute libre a également été modifié en raison du poids exceptionnel de ce trépan (1).

La dynamite commence à rendre de grands services pour la destruction des objets tombés dans un trou de sonde, quand on ne peut parvenir à les retirer. L'instantanéité de ses effets permet en effet une attaque irrésistible au contact, sans propager à une trop grande distance la désorganisation générale. M. Lippmann s'en est également servi pour l'élargissement au-dessous d'une colonne de tubes, pour le travail courant en vue de préparer par le fendillement du fond l'action du trépan, ou encore pour ménager des chambres de dissolution à la base des sondages pratiqués dans des formations salifères (2).

Sondage au diamant. — Le nouveau procédé du sondage au diamant noir, dont la première idée est due à l'ingénieur suisse Leschot, se répand de plus en plus et donne des résultats remarquables par la rapidité jusque-là inconnue de l'approfondissement (3). Un avancement moyen de 5 mètres par jour, tout compris, est très ordinaire. On a obtenu exceptionnellement 15 mètres de moyenne à Wallaf (Suède). Le chiffre de 33 mètres en vingt-quatre heures a été atteint une fois pour un jour spécial, par M. Schmidtmann, directeur de la *Continental diamond rock boring*

(1) *Compte rendu mensuel des réunions de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, mai 1877, page 18.

(2) Lippmann, *L'art du sondage*, etc., page 23.

(3) Sauvage, *Annales des mines*, 7ᵉ série, tome VII, page 451.

Lodin et E. Gruner (*Ibidem*, page 479).

Major Beaumont (*Revue universelle des mines et des usines*, de Cuyper, tome XXXV, page 576).

Loriol (*Compte rendu mensuel*, 1875, page 8).

Dupont (*Annales des mines*, 1875).

Company. On est enfin arrivé, dans le sud du pays de Galles (1), à creuser 1^{m},28 en 23 minutes à une profondeur de 76 mètres, ce qui représente une vitesse de 1 millimètre par seconde environ. Le plus grand obstacle à cette rapidité se rencontre dans les poudingues, les conglomérats et les argiles, pour lesquels on peut être forcé de reprendre temporairement le procédé ordinaire, si leur puissance a quelque importance.

De grandes profondeurs ont été déjà atteintes par la Compagnie Schmidtmann; par exemple: 697 mètres à Bœhmishbrod (Bohême), pour la Compagnie des chemins de fer autrichiens; 741 mètres à Villefranche-d'Allier, pour la société de Châtillon-Commentry; 902 mètres à Ascherleben (Prusse), dans le bassin des sels de potasse. Le tableau suivant (2) fournit à cet égard quelques données intéressantes:

DÉSIGNATION du sondage.	COMMENCEMENT	FIN.	NOMBRE de jours employés au sondage proprement dit.	DIAMÈTRE en pouces.	PROFONDEUR totale en mètres.	AVANCEMENT moyen par jour en mètres.	AVANCEMENT maximum par jour en mètres.	LONGUEUR totale des tubages en mètres.
Bethlehem, près Liebau. . . .	15 oct. 75.	19 févr. 76.	68	7 à 3	500	7,4	18,1	447
Rheinfelden (Suisse).	14 août 75.	15 oct. 75.	34	7 à 3	443	13,0	22,0	369
Villefranche-d'Allier.	28 nov. 75.	4 janv. 77.	145	9 à 3	741	5,1	23,8	1.310
Ascherleben, n° 1.	5 juill. 76.	21 oct. 76.	57	7 à 3	303	5,3	21,7	395
Id. n° 2.	19 nov. 76.	26 févr. 77.	71	7 à 3	312	4,4	14,2	396
Id. n° 3.	14 fevr. 77.	24 août 77.	81	9 à 3	453	5,6	17,8	1.117
Id. n° 4.	6 juill. 77.	1er déc. 77.	85	9 à 3	443	5,2	13,9	665
Id. n° 5	1er janv. 78.	18 sept. 78.	100	12 à 3	902	9,0	30,0	1.809
Id. n° 6.	18 févr. 78.	11 mai 78.	63	10,5 à 3	405	6,4	26,4	694
Id. n° 7.	23 juill. 78.	4 oct. 78.	60	10,5 à 4	361	6,0	9,2	493

Le sondage de Villefranche a fait l'objet d'une étude descriptive très circonstanciée de la part des ingénieurs de la Compagnie de Châtillon-Commentry. Ce travail paraîtra sans doute prochainement dans les *Annales des mines*, et me dispensera d'insister ici sur les détails du procédé.

Sondage de Sperenberg. — C'est par milliers que l'on compte aujourd'hui les applications du sondage à la recherche des mines, principalement en ce qui concerne les gîtes de combustible ou de

(1) Lecornu (*Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 333).

(2) *Travaux de forage exécutés par la « Continental diamond rock boring Company »*, brochure. Leipzig, 1879.

sel. Je me contenterai d'en citer un seul exemple, le plus remarquable par la profondeur à laquelle on a réussi à le pousser. Il a été exécuté à Sperenberg, près de Berlin (1). On est entré de suite dans le gypse. A 89 mètres on a rencontré le sel gemme que l'on n'a plus quitté jusqu'à la profondeur de 1.272 mètres, à laquelle on s'est arrêté sans que rien indiquât encore si l'on approchait de la limite du gisement. Cette mémorable opération a été conduite à bras d'hommes jusqu'à 300 mètres, et au delà par la force de la vapeur. Le diamètre était au début de $0^{m},392$ et se réduisit par les tubages à $0^{m},318$ à la profondeur de 280 mètres. L'avancement, réparti sur le temps total y compris les chômages ou accidents, représente $0^{m},80$ par vingt-quatre heures. Le prix du mètre courant a été de $171^{f},40$. Ce chiffre, remarquablement économique si l'on tient compte de l'énorme profondeur atteinte, peut même être réduit à $167^{f},30$ si l'on en défalque la valeur que conservait encore le matériel après la fin des opérations (2).

Exploitation de l'huile de pétrole. — Indépendamment du rôle qu'il joue dans la recherche des mines, le sondage apporte un double secours à l'exploitation proprement dite, d'abord en ce qui concerne le fonçage des puits à grand diamètre, sur lequel j'aurai occasion de revenir, et en second lieu pour l'exploitation des gîtes fluides, à savoir les couches artésiennes, les amas salifères traités par dissolution, l'huile de pétrole et les fontaines de gaz.

Cette dernière application a pris dans la période qui s'achève un prodigieux développement. M. l'inspecteur général Daubrée avait dès 1868 (3) signalé la rapidité avec laquelle s'accroissait la production du pétrole. Celle de l'Amérique du Nord qui en 1861 avait été de 5.376.069 litres, atteignait au bout de cinq ans le chiffre de 302.338.912 litres. M. Henry, ingénieur des mines, a visité en 1876 le *pays de l'huile* (4). La production journalière était en moyenne de 5.819.840 litres, c'est-à-dire supérieure à celle

---

(1) Voisin, ingénieur des mines, *Le sondage de Sperenberg* (*Annales des mines*, 7e série, tome V, page 51).

(2) On vient de creuser à Pesth (Hongrie) un puits artésien qui a atteint 970 mètres, tandis que celui de Passy n'en a que 547. Il fournit environ 760 mètres cubes par jour d'une eau limpide, très-calcaire et légèrement barytique, à 74 degrés centigrades. (*Journal of the Franklin Institute*; — *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome VI, page 270. — *Jahrbuch d. K. K. geol. Reichsanstalt*, tome XXVIII, fasc. 4. — *Annales des Mines*, 7e série, t. XV, p. 635.)

(3) *Rapports du jury international de l'Exposition de 1867*, t. V, page 69.

(4) *Compte rendu mensuel*, juillet 1877, p. 16.

qu'on réalisait dans une année entière quinze ans auparavant. Cette quantité était fournie par 7.037 puits en activité; 512 autres étaient en forage, 320 venaient d'être terminés dans le seul mois de mai. Ces puits sont forés à la corde sur 10 centimètres de diamètre ordinairement. Leur profondeur, assez variable, peut atteindre 320 mètres. Les uns sont artésiens, les autres exigent l'installation d'une pompe. Souvent la hauteur du jet diminue progressivement et nécessite plus tard un appareil d'extraction, quand le niveau s'abaisse au-dessous du sol. Le débit diminue également et le puits devient ordinairement stérile en moins de trois ou quatre ans. On en a vu qui donnaient au début 45 litres par minute.

Tous les puits fournissent à la fois de l'huile et de l'eau. Quelques-uns produisent en outre du gaz. Ce dernier est capté et conduit dans des tuyaux à Pittsburg, à une distance de 25 kilomètres. On l'y emploie pour l'éclairage, le chauffage et le puddlage dans des fours Danks.

M. Henry a reconnu dans cette région le caractère de grands alignements rectilignes déjà signalé dans la Gallicie et les Karpathes par M. l'ingénieur des mines Heurteau, et en Valachie par M. l'ingénieur des mines Fuchs. Cette circonstance indique l'invasion de grandes fractures par le liquide venu de la profondeur et rayonnant par des fissures secondaires à des distances en général assez faibles de ces directions principales (1).

Boitout-moteurs. — Parmi les applications du sondage je citerai encore, en raison de son originalité, la création de petites forces motrices au moyen de puits absorbants, due à M. G. Hanriau, de Meaux (2). La première idée de cette innovation avait été émise par MM. Mignon et Rouart, et fondée sur l'emploi du bélier hydraulique. Mais M. Hanriau a fait faire un pas à la question en substi-

---

(1) Heurteau : Mémoire sur la recherche et l'exploitation du pétrole en Gallicie (*Annales des mines*, 6e série, tome IX, page 197).

Fuchs et Sarrazin : Notes sur les sources de pétrole de Campina (Valachie) (*Archives des sciences de la Bibliothèque universelle*, février 1873, Genève).

E. Windakiewitz : L'Industrie des huiles minérales en Gallicie (*Berg und Hüttenwesen-Zeitung*, tome XXIII, pages 1 à 113).

Colonel Romanowski : La région du pétrole dans la province de Kouban (Circassie) (*Journal des mines de Saint-Pétersbourg*, avril 1873).

Abich : Sur la production et les conditions géotechniques de la région à naphte voisine de la Caspienne. (Communication de M. Daubrée, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXVIII, page 891.)

(2) Haton de la Goupillière (*Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, 3e série, tome III, page 1).

tuant à ce moteur un chapelet hydraulique, et, dans d'autres cas, une fontaine de Héron modifiée par lui d'une manière ingénieuse.

Le système consiste en principe à engouffrer des eaux impures de la surface jusqu'à une couche absorbante, et à créer par là une force motrice pour les machines agricoles. On peut aussi élever des eaux plus saines à partir d'une couche aquifère, au moyen d'un double tubage séparant l'eau ascendante de l'eau motrice, ou enfin élever jusqu'au sol une partie du débit d'une couche aquifère mais non artésienne, en laissant descendre le reste jusqu'à une couche absorbante située au-dessous à une distance inversement proportionnelle aux poids considérés, abstraction faite des résistances passives.

Des applications de ce procédé ont été déjà réalisées à Meaux, à Annet dans la Brie, à Bailly-Romainvilliers près Couilly (Seine-et-Marne), etc.

§ II. — Abatage.

Abatage sans poudre. — En ce qui concerne le travail à la main, je mentionnerai le pic à pointes mobiles (1), qui dispense de remonter au jour le corps de l'outil toutes les fois qu'il faut le recharger d'acier. Cette combinaison, renouvelée de ce que l'on faisait pour l'ancienne pointerolle, a donné de bons résultats à Neu-Essen dans le bassin de la Ruhr, et a été introduite par M. Chansselle dans les houillères de Saint-Étienne (2). Le pic de Warsop réalise encore la même idée.

On se préoccupe généralement des moyens de substituer aux explosifs l'emploi d'une force inoffensive au point de vue du grisou, telle que celle de l'homme multipliée par des vis lentes, ou la pression hydraulique. On agit alors la plupart du temps sur des aiguilles infernales, c'est-à-dire sur des combinaisons de coins dont l'un, engagé la tête en avant au fond du trou de mine, est sollicité à ressortir en écartant les contre-coins et faisant éclater la roche à partir du fond. D'une part, on évite ainsi le danger du coup de feu, et de l'autre, on espère une plus forte proportion de gros de cette action moins brutale que celle de la poudre. M. Levet annonce même sous ce rapport moitié en sus, ce qui est sans doute un peu optimiste. Les débuts de ces diverses tentatives n'ont pas été très

(1) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXVII, page 395.
(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, p. 551.

heureux, mais les derniers appareils paraissent donner de meilleurs résultats. Il y a là, dans tous les cas, une question d'une véritable importance. On peut citer à cet égard les systèmes Bider et Jones, Chubb, Cochrane, Davies, Degheye, Demanet, Grafton, Guibal, Helliot, Tangye, etc. (1). L'appareil Levet a été particulièrement remarqué à l'Exposition universelle, et commence à se répandre dans plusieurs exploitations (2).

M. Garforth, de Dukinfield, a fait connaître à la société géologique de Manchester une petite machine à l'aide de laquelle on envoie dans des cartouches placées au fond de trous de mines de l'air comprimé jusqu'à 936 atmosphères. Dans la houillère de Bower, on a réussi par ce procédé, dans une couche très-dure de 1m,50 de puissance, à abattre d'un seul coup 5 à 6 tonnes de charbon (3).

On a aussi employé le choc ou le *bosseyement*, en substituant au fleuret d'une perforatrice, après que le trou est foré, une masse destinée à agir par sa percussion sur des coins pour déterminer l'éclatement. Ces essais ont eu lieu en Belgique (4). On se sert également des perforateurs au Rammelsberg (Hartz), pour faciliter l'abatage des roches étonnées par le feu.

Poudre de mine. — On n'a donné jusqu'ici que bien peu de règles théoriques pour déterminer la position des coups de mine. On s'en rapporte presque uniquement à l'instinct des ouvriers. Signalons cependant à cet égard les intéressantes recherches de M. Drinher, à l'aide desquelles il arrive à donner des formules et des résultats numériques qu'il serait impossible d'analyser ici (5). Je citerai également celles de M. Striedinger (6) et l'intéressant travail de M. Jules Havrez (7).

(1) *Compte rendu mensuel*, novembre 1877, page 10.
Annales des travaux publics de Belgique, tome XIV, page 510 et tome XXI, page 113.
Revue universelle des mines et des usines, tome XXIX, page 154, et 1877, tome Ier, page 129.
Alfred Évrard, *Traité pratique d'exploitation des mines*, tome Ier, page 104.
(2) *Compte rendu mensuel*, août 1878, page 86.
(3) *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome VI, page 331.
(4) *Revue universelle des mines et des usines*, 1877, tome Ier, page 127.
(5) *A treatise on tunnelling explosive compounds and rock drills*, by Drinher (New-York). *Association amicale des anciens élèves de l'École des mines*, 1878-79, page 137.
(6) *Explosion simultanée et groupement le plus avantageux des trous de mines*, par Striedinger (*Transactions of the American Society of civil Engineers*, tome VI, page 177).
(7) *Sur le meilleur mode de creusement des trous de mines* (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXIX, page 489).

L'emploi de l'ancienne poudre de mines a reçu quelques perfectionnements importants. Chacun connaît la poudre comprimée de M. Davey (1). L'explosif réuni par la compression dans un moindre espace a plus de force par centimètre cube. Son centre d'action se trouve plus rapproché du fond du trou, le chargement est facilité et plus exactement dosé. Enfin les soustractions de poudre par les hommes, pour en former des provisions à domicile, deviennent impossibles (2).

M. Ruggieri a introduit tout récemment la poudre comprimée-papetée. La compression, effectuée avec une enveloppe d'un papier spécial, détermine l'adhérence complète de celui-ci. La cartouche devient presque incassable, et surtout elle ne donne par le transport aucun pulvérin.

Cet habile artificier a également modifié le tir des coups de mine (3) en substituant aux moyens d'inflammation jusqu'ici en usage l'étoupille de l'artillerie que l'on arrache à distance. De là un avantage précieux dans les gîtes grisouteux, puisqu'on n'a plus besoin de feu extérieur pour allumer l'amorce. En outre, on évite la perte de temps entre le départ des hommes et l'explosion, et celle bien autrement longue encore qui doit toujours suivre un raté, dans la crainte que ce ne soit un long-feu. Avec l'étoupille, on peut revenir immédiatement sur le coup manqué qui ne saurait plus repartir.

Dans la section anglaise de l'Exposition, M. James Mac-Nabb avait présenté une bourre à l'eau formée d'un cylindre de fort papier rempli de ce liquide et interposé entre la charge et la bourre, dans le but d'empêcher la conflagration de se transmettre au dehors dans les mines à grisou, soit en arrêtant la flamme, soit en refoulant au loin l'atmosphère grisouteuse par le nuage de vapeur d'eau qui sort le premier. L'inventeur énonce, en outre, que des essais directs ont accusé une légère augmentation de puissance explosive. Mais des expériences attentives faites tout récemment à Blanzy devant les hommes les plus compétents ne paraissent avoir répondu à aucune de ces espérances. Il convient de dire cependant que si la réalisation est encore imparfaite, l'idée mérite peut-être de ne pas être rejetée sans examen. On sait, en effet, que la puissance explosive tient à la très-grande élévation de tem-

---

(1) *Revue universelle des mines et des usines*, 2e série, tome III, page 751.

(2) *Charges de poudre comprimée* (*Revue d'artillerie*, mai 1875).

(3) *Notice sur un nouveau procédé de mise à feu des mines avec la poudre*. Ruggieri. Paris, 1878, chez Tanera.

pérature, et qu'en même temps la suppression de la flamme au dehors consiste en un subit abaissement de cette température. Or rien n'est plus caractéristique que la rapidité avec laquelle diminue cet élément, par le contact des gaz en ignition avec des parois froides. Le problème, quoique compliqué, n'est donc pas absolument irrationnel.

La dynamite et les nouveaux explosifs. — Dans l'ancienne poudre de mines formée de salpêtre, de charbon et de soufre, on a parfois supprimé ce dernier élément, de manière à obtenir des poudres *binaires*. Plus souvent, en conservant la composition ternaire, on a substitué au salpêtre d'autres nitrates, tels que ceux de soude, de baryte, de chaux, de magnésie, d'ammoniaque, ou divers chlorates. Au charbon on a de même substitué des succédanés tels que la sciure de bois, le tan, la râpure de noix de galle, etc. Ces modifications n'ont pas donné de résultats bien essentiels et qui paraissent destinés à survivre aux premiers essais. L'azotate de soude seul pourrait rendre des services par sa force et son bon marché, si l'on arrivait, comme cela ne semble pas impossible, à se garantir contre l'influence fâcheuse de ses propriétés hygroscopiques.

Mais une révolution bien autrement importante s'est produite par l'introduction des produits azotés essentiellement brisants, tels que les prussiates, les picrates, le pyroxyle et la nitroglycérine. Les deux derniers seuls ont joué un rôle de quelque valeur dans le tirage des mines. Le fulmi-coton ou pyroxyle, toujours discuté et successivement abandonné et repris, n'a pas encore donné lieu à une conclusion absolument définitive. Mais en tout cas il est bien loin d'avoir acquis l'importance pratique de la nitroglycérine.

Cette dernière substance, $C^6H^5O^{18}Az^3$, a été découverte en 1846 par Sobrero et employée en 1864 au tirage des mines, par M. Nobel, de Stockholm. Mais l'extrême danger de son application et surtout de son transport, ainsi que le caractère vraiment effrayant des désastres qu'elle a occasionnés, ont fait presque partout réglementer et même la plupart du temps proscrire son emploi. M. Nobel, en persévérant dans ses recherches, est arrivé à sa découverte capitale de la dynamite.

On désigne sous ce nom l'association d'une certaine quantité de nitroglycérine liquide avec une substance essentiellement poreuse. Dans les dynamites *à base inerte*, cette matière ne joue qu'un rôle diviseur; dans les dynamites *à base active*, elle entre pour son

propre compte en déflagration et ajoute par ses effets à l'intensité de la force de dislocation. On a essayé sous ce rapport des mélanges divers qui ont donné lieu à d'innombrables produits désignés par leurs inventeurs sous les noms les plus variés. On peut citer, par exemple, tant parmi les poudres ternaires que dans l'ordre des dynamites diverses, les composés suivants : acétine, alcaloxyde, dualine, glyoxyline, haloxyline, héracline, lithofracteur, matazlette, pyrolithe, pyronome, rhexit, séranine, vigorite, poudre blanche, poudre jaune, dynamite grise, dynamite noire, poudres d'Abel, de Fontaine, d'Engels, et d'une série d'autres inventeurs dont il ne serait pas difficile de pousser l'énumération jusqu'au chiffre d'une centaine. Un grand nombre de ces produits ne constituent que des variantes sans importance, mais quelques-uns ont une véritable valeur. Il serait impossible toutefois d'entrer ici à cet égard dans une discussion qui serait sans limites et qui appartient bien plutôt aux ingénieurs du corps des Poudres et Salpêtres.

Une puissante société s'est formée pour exploiter dans le monde entier les procédés Nobel. Elle a créé un grand nombre d'établissements de premier ordre, parmi lesquels, en France, celui de Paulille (Pyrénées-Orientales). Ses produits sont universellement répandus. On a beaucoup discuté l'influence des vapeurs nitreuses sur le mineur. Il est permis de penser que les céphalalgies qu'elles occasionnent et les divergences complètes enregistrées à cet égard se réduisent à une question d'aérage. On les observe parfois même sans explosion quand on conserve la dynamite dans un laboratoire fermé. On s'est également préoccupé de la question d'économie, et ce n'est pas sous ce rapport que l'emploi de la dynamite paraît l'emporter sur l'ancienne poudre, mais bien par la puissance décisive et brisante de son action et la rapidité qu'elle apporte dans les avancements. Or il n'est que juste de noter que cette rapidité même exerce une action indirecte sur le point de vue économique. Cet emploi, quoique encore assez récent, est aujourd'hui si répandu et si bien connu que je puis me borner ici aux indications qui précèdent, en renvoyant pour de plus grands détails aux publications originales (1).

---

(1) Harlé : Application de la nitroglycérine au tirage des mines (*Annales des mines*, 6ᵉ série, tome XIX).

Brull : Études sur la nitroglycérine et la dynamite (*Mémoires des ingénieurs civils*).

Hess : Volatilité de la nitroglycérine dans la dynamite (*Journal d'artillerie*

Je dois cependant faire une mention spéciale d'un produit tout nouveau inventé par M. Nobel et dont il attend des avantages considérables sur lesquels le temps et l'expérience pourront seuls prononcer. C'est la *dynamite-gomme*. Elle est formée de 93 parties de nitroglycérine et de 7 parties de fulmi-coton soluble ou collodion. On obtient par là une matière gélatineuse demi-solide avec laquelle l'huile explosive est assimilée dans la substance même, en quoi elle se distingue complétement de toutes les dynamites. D'après l'inventeur, et en laissant à sa grande autorité la responsabilité de ses assertions : « la puissance explosive est un peu supérieure à celle de la nitroglycérine pure. La dynamite-gomme brûle en fusant au contact d'un corps en ignition et ne fait explosion que par l'influence d'une amorce fulminante. Des cartouches se sont conservées à l'air pendant plus d'une année sans altération. Elles n'ont rien abandonné à l'eau et ont conservé leur force. Dans une enceinte absolument confinée, la puissance explosive dépasse de moitié celle de la dynamite. Enfin les transports présentent encore plus de sécurité que pour ce dernier produit, pour lequel on peut redouter à la longue une certaine liquation. »

Tir électrique. — Les premières applications de l'électricité à l'inflammation des mines (1) paraissent dues, d'après M. Alfred

---

de Vienne, 1876, p. 117).

Champion : *La dynamite et la nitroglycérine* (Paris, chez Baudry).

Brull : Dynamite et nitroglycérine (*Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome IV, pages 493, 562, 659).

Henry : Sur les substances explosibles employées dans les mines (*Annales des mines*, 6e série, tome XIX, page 21).

Amiot : Dangers de la dynamite (*Annales des mines*, 7e série, t. III, p. 427).

Habets : Creusement des puits et galeries (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXVI, page 29).

Fritsch : Les dynamites (*Mémorial de l'officier du génie*, 1872 et 1874).

Brull : *Notice sur la dynamite* (Montpellier, chez Bœhm).

Barbe : *Études pratiques sur la dynamite* (Paris, chez Lemoine).

Bolley, Kundt, Pestallozzi : Observations sur la dynamite (*Revue polytechnique de Zurich*, tome XIV).

Phillipp Hess : Sur la dynamite gelée (*Journal du génie et de l'artillerie d'Autriche*, 1876, page 1).

Nobel, Roux, Sarrau : *Les explosifs modernes* (Paris, 1876, chez Lahure).

Mode d'emploi de la dynamite (publié chez Lahure par la société Nobel, 1876).

La dynamite, ses caractères et ses effets (publié chez Lahure par la société Nobel, 1878).

(1) Champion et Pellet : Application de l'électricité à l'art des mines (*Annales de physique*, mai 1875).

Julius Striedinger : On igniting blasts by means of electricity (*Transactions of the American society of civil Engineers*, tome VII, janvier 1878).

Évrard (1), à Priestley, en 1767. Pour ne pas remonter au delà de 1851, je rappellerai les expériences de M. Dumas à Veyras (Ardèche), qui ont été décrites par M. l'ingénieur en chef des mines Castel (2). A partir de 1869, M. Grille a pratiqué ce mode de tirage à Villars (Loire) et en a publié lui-même une description (3). A la suite de l'Exposition de Vienne, M. Habets a fait connaître (4) les progrès réalisés à l'étranger. Enfin M. Ollier a communiqué récemment à la Société de l'industrie minérale (5) les résultats de ses longues et attentives expériences dans son exploitation de Montchanin.

Il ne conclut pas à une économie réelle sur le tirage à l'étoupille, mais il insiste sur les autres avantages de l'électricité : par-dessus tout, la sécurité complète sans explosions prématurées ni long-feux, devenus absolument impossibles; la suppression de la fumée goudronneuse des étoupilles, plus fâcheuse encore que celle de la poudre, ce qui permet de revenir plus vite à l'avancement; enfin les avantages de la simultanéité rigoureuse des coups tirés par volées. Bien que les expériences de M. Baure l'aient amené à conclure, au contraire, qu'il vaut mieux ébranler successivement la roche par des explosions échelonnées et que les coups simultanés se calent mutuellement (6), on conçoit cependant, d'après une vue très-juste de Callon (7), qu'à la sphère décidément destructive d'un coup de mine s'ajoute une zone d'ébranlement insuffisant qui rentre après quelques oscillations dans son repos initial. Si donc on superpose sur une même région plusieurs zones de simple ébranlement dans un même moment, l'effet pourra aller jusqu'à une dislocation que l'on n'aurait pas obtenue avec des explosions successives. Il semble que ces deux points de vue, quoique opposés, n'ont au fond rien d'inconciliable. Ce sont des effets d'addition ou d'interférences de vibrations qui peuvent les uns comme les autres se produire par le hasard des circonstances. Mais on devra compter en général plutôt sur une influence favorable à la désorganisation, car l'interférence absolue exige la coïncidence des directions dans deux sens opposés et avec égalité

---

(1) *Traité pratique de l'exploitation des mines*, tome I, page 84.
(2) *Annales des mines*, 1852, tome II, page 8.
(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1872, tome I, page 779.
(4) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXVI, page 75.
(5) *Compte rendu mensuel*, juillet 1877, page 3.
(6) Alfred Évrard : *Traité pratique de l'exploitation des mines*, t. I, p. 80.
(7) *Cours d'exploitation des mines*, tome I, page 174.

des amplitudes, tandis que des résultantes quelconques et enchevêtrées pourront naître de directions et d'intensités diverses.

On peut employer pour le tir deux modes d'accouplement : *par embranchement* avec un fil de platine porté au rouge, ou *par circuit*, en excitant l'étincelle par une courte interruption du conducteur. Ce dernier a paru le plus simple.

Trois sources d'électricité peuvent être mises en usage : d'abord les piles ; en second lieu les appareils d'électricité statique, tels que ceux d'Abegg, Ebner, Elsner, qui figuraient à l'Exposition de Vienne ; enfin, et surtout, les machines d'induction, telles que celle de Bornhardt. L'appareil de Ruhmkorff a été jugé à Montchanin trop compliqué. On lui en a préféré un autre dans lequel l'induction est produite par des courants électro-magnétiques. Mais tous ceux qui sont fondés sur ce principe ne sont pas également bons. Celui de Marius et le *coup-de-poing* de Breguet ne pourraient allumer plus de trois pétards. L'appareil dynamo-électrique de Siemens convient mieux pour le circuit par embranchement.

Quant aux conducteurs, on peut employer le fil de fer des numéros 10 à 15 dans les emplacements secs. Pour des puits humides, il faut avoir recours au cuivre recouvert de gutta-percha, à section diminuée pour soulager son poids, et pincé tous les 100 mètres dans des points d'appui enduits à la gutta-percha. Le retour se fait par un fil spécial et non par la terre. Des fils moins chers relient les conducteurs principaux aux fourneaux, dont l'explosion risque de les détruire.

En ce qui concerne l'inflammation, on peut se contenter de la poudre avec un fil porté au rouge. Mais l'emploi de l'étincelle exige des amorces spéciales formées, par exemple, de sulfure d'antimoine et de chlorate de potasse par parties égales, ou de compositions plus complexes. On les place dans un petit cylindre de mastic isolant dans lequel les fils de cuivre s'approchent à un quart de millimètre l'un de l'autre. Pour placer ce système dans la cartouche au fond du trou, on a à peu près renoncé aux anciennes baguettes de bois (*Holzstæben*) dans lesquelles les fils étaient incrustés de manière à ne pas se toucher. On emploie des fils tissus comme les étoupilles (*Gutedrahtleitung*), ou mieux des bandes électriques (*Bandleitung*) où les fils sont isolés à l'aide de papier fort, enduit de poix.

M. Ollier, après une période d'essais plus ou moins irréguliers, est arrivé à une pratique courante dans laquelle il a pu tirer 279 coups avec 9 ratés seulement. L'amorce avec bande est re-

venue à 0f,1925 par coup de mine à la poudre et 0f,2150 avec la dynamite. Depuis lors une autre série de 1.288 coups a été tirée avec 9 ratés (1).

Sautage de Hallets-Point.— Je ne saurais passer ici sous silence l'exemple mémorable de l'emploi des explosifs qui a tenu sur pied, le 24 septembre 1876, toute la population de New-York. Il s'agissait d'approfondir de 4 à 8 mètres le chenal de Hell-Gate en mer, dans une espace figurant une sorte d'ellipse d'un hectare et quart. Le général Newton avait été chargé de ce grand travail. Le cube à enlever représentait 48.235 mètres cubes, et le poids environ 120 millions de kilogrammes. Les frais s'élevèrent à 5.560.000 francs. L'opération a duré quatre ans et quatre mois.

On commença par construire un bâtardeau au centre de l'ellipse pour pouvoir s'y enfoncer à l'aide d'un puits rectangulaire. 41 tunnels furent tracés en rayonnant autour de ce point, recoupés par 11 galeries concentriques et à peu près elliptiques. Les sections étaient de 4m,27 de longueur sur une hauteur variant entre 3 mètres et 6m,70 suivant la configuration du fond préalablement déterminée par des sondages. Les intersections de ce réseau dessinaient 172 piliers de 3 mètres de côté. Ces percements représentèrent un total de 2.262 mètres de développement et 37.827 mètres cubes. On pratiqua 6.455 trous de mines de 75 millimètres et 578 de 50 millimètres, mesurant ensemble 17.228 mètres de longueur. Ils furent chargés de 49.915 kilogrammes de matières explosibles diverses. Ce chiffre représente environ 468 grammes par mètre cube de roche à dépiler. Les charges étaient renfermées dans des cartouches d'étain. On s'est contenté d'un bourrage à l'eau en ouvrant le siphon 24 heures avant le tirage, de manière à remplir d'eau toute l'excavation. On associait pour la déflagration 13 décigrammes de fulminate de mercure à 340 grammes de matière explosible. On disposa ainsi dans les piliers 3.680 fourneaux par séries d'une vingtaine. 23 batteries électriques, comprenant en tout 960 éléments au bichromate, furent préparées pour l'inflammation avec des détails minutieux qu'il serait trop long d'énumérer ici (2).

Cette explosion eut lieu en présence d'une foule innombrable et

---

(1) Helliot, *Compte rendu mensuel*, août 1878, page 85.

(2) Lagasse, *Revue des questions scientifiques de la Société scientifique de Bruxelles*, 1877, page 285.

La dynamite, ses caractères et ses effets, publié par la société Nobel, 1878, page 140.

on la fit déterminer par la main d'une petite fille de trois ans. On vit s'élever sur le champ de la déflagration une colonne d'eau pulvérisée de 25 mètres de hauteur en moyenne et de près de 40 mètres au centre. Le bruit et la commotion furent très faibles. On n'eut à regretter aucun dégât dans la ville, et le succès le plus complet couronna cette belle opération.

Perforateurs. — Depuis le percement du Mont-Cenis, la question de la substitution du travail mécanique à celui de l'homme pour le forage des trous de mines s'est de plus en plus imposée à l'attention. De nombreuses discussions ont été engagées sur la comparaison de ce mode avec les procédés ordinaires. En ce qui concerne la rapidité de l'avancement, il ne peut y avoir qu'une seule manière de voir. La vitesse, toujours doublée, a été parfois quadruplée. Dans les beaux travaux de Cessous et Comberedonde, le rapport des vitesses a même atteint, à un certain moment, le chiffre de 7,68. L'avantage est donc décisif, et il exerce souvent une influence indirecte sur le point de vue économique (1).

Mais quant au coût immédiat de l'opération, la plupart du temps la perforation mécanique est restée dans une infériorité marquée par rapport aux anciens procédés. On a même vu parfois des exploitants y renoncer pour reprendre le travail à la main. Il est, en effet, fort évident d'abord que si, par irréflexion, on surchargeait une exploitation d'une faible importance de la dépense considérable et peu susceptible d'atténuation que nécessite l'établissement de l'outillage à l'air comprimé, on irait volontairement au-devant d'un échec. Mais, en outre, certaines causes permanentes contribuent au défaut d'économie, bien que quelques-unes soient, sans doute, susceptibles de quelque amélioration. La dépense de poudre est augmentée. La section nécessitée pour l'installation des perforateurs est parfois plus grande qu'il n'eût été nécessaire sans cela. L'ébranlement des parois, plus profond qu'avec le mode ordinaire, finit au bout de quelque temps par rendre l'entretien plus coûteux. La difficulté de l'aérage, les vapeurs nitreuses, les poussières, le bruit assourdissant, disposent les ouvriers

(1) M. Burat en cite un exemple remarquable (*Situation des houillères de Blanzy en* 1877, page 82; Baudry, 1878). Le travers-bancs du niveau 295 du Magny a pu être exécuté en huit mois et demi, tandis que par les moyens ordinaires il aurait exigé vingt mois. Or les onze mois et demi gagnés de cette manière ont permis de fournir 190.000 hectolitres qui n'auraient pu être obtenus si les travaux n'avaient pas été aérés par le percement du travers-bancs. On a calculé que le bénéfice réalisé par ce fait s'était élevé à 138.000 francs.

à exiger une haute paye. L'entretien des appareils est coûteux et nécessite le plus souvent la présence permanente dans le poste d'un ouvrier spécial pour éviter de grandes pertes de temps par suite des moindres avaries. Des séries de prix de revient très intéressantes ont été publiées à cet égard par les exploitations de Bessèges (1), Bézenet (2), Cessous et Trebiau (3), Nœux (4), Ronchamp (5), Trelys (6), Saint-Gothard (7). La dépense, presque toujours supérieure de moitié, a été parfois jusqu'au triple. La grande dureté des roches constitue naturellement la condition la plus favorable à l'emploi des moyens mécaniques. Pour ce motif, on ne doit pas accepter comme définitif l'insuccès de certaines tentatives faites dans des mines métalliques. M. Garnier vient d'introduire les perforateurs à Vialas et n'a eu qu'à s'en féliciter.

Quant aux modèles proposés, on peut dire qu'ils sont devenus littéralement innombrables (8). Nous pouvons les classer en trois genres, très inégalement représentés du reste comme nombre. En premier lieu, les perforateurs *à la main*, tels que les *percuteurs* Delahaye et Behrens (9) et les *appareils rotatifs* Lisbet, Abegg, Richards, Rziha, Schwetzka, von Balzberg (10), et le vilebrequin des mines de Trets.

En second lieu, les perforateurs *mécaniques rotatifs*, dérivés plus ou moins directement de l'appareil à diamants noirs de Leschot qui était mû par la force hydraulique (11). On peut rattacher

(1) *Compte rendu mensuel*, mai 1877, page 20.
(2) *Ibidem*, août 1877, page 7.
(3) *Ibidem*, novembre 1876, page 22.
(4) *Ibidem*, janvier 1877, page 9.
(5) *Bulletin de l'industrie minérale*, 2e série, tome II, page 432.
(6) *Compte rendu mensuel*, mars 1877, page 4.
(7) Revaux, *Annales des mines*, 7e série, tome XV, page 450.
(8) Hasslacher (*Zeitschrift für den Berg, Hütten und Salinenwesen*, tome XVII, 1re livraison), traduit par Pernolet (*Annales des mines*, 6e série, tome XVII, page 519).
Pernolet : Articles sur la perforation mécanique (*Annales des mines*, 7e série, tome I, pages 17 et 283; *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome I, page 381 ; tome II, page 1; tome III, page 596; *Bulletin de la Société d'encouragement*, novembre 1875, page 605).
Article de Habets sur les perforatrices (*Revue universelle des mines et des usines*, 1877, tome I, page 63).
Havrez (*Ibidem*, 1876, tome I, page 489).
Ueber Gesteinbohrmaschinen, par Stappf (Stockholm, chez Bonnier, 1859).
(9) Callon : *Cours d'exploitation des mines*, tome I, page 211.
(10) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXVI, page 89.
(11) Supplément au *Traité* de Ponson, *sur les mines de houille*, tome I, page 55.

à cette catégorie l'appareil Brand à outil rotatif d'acier qui figurait dans la section suisse de l'Exposition universelle de 1878 (1); la perforatrice Penrice, qui agit sur toute la section de la galerie à la fois (2); la tarière Brunton, proposée pour tailler dans la craie qui forme le lit de la Manche un tube de 2ᵐ,10 de diamètre (3); et encore la machine à dresser la pierre, analogue comme dispositif, quoique son but soit différent, et qui figurait dans la section anglaise de l'Exposition sous le nom de MM. Brunton et Trier. Il convient de dire relativement à ce type rotatif qu'il se prête peu aux nécessités du problème dans les conditions courantes du percement d'une galerie, et n'acquérerait toute sa valeur que par l'invention d'une bonne machine motrice rotative.

Nous comprendrons dans une troisième classe les appareils *mécaniques percuteurs*, qui sont mus presque toujours par l'air comprimé. Je citerai d'abord les appareils Barthelson, Gainschnigg, Schwarzkopf, Warsop (4), etc., dans lesquels une masse manœuvrée par la machine vient frapper un fleuret distinct placé dans le trou. Ce procédé, qui donne lieu à deux chocs et par suite à deux pertes de force vive au lieu d'une, doit être écarté au point de vue théorique, d'après une judicieuse remarque de Callon (5). La vraie solution, inaugurée par M. Sommeiller (6) avec des appareils construits à Seraing, consiste à lancer le fleuret directement comme masse percutante, de manière à reproduire dans le travail mécanique ce que font les hommes dans l'emploi de la barre à mine. C'est ce type qui s'est avec raison le plus multiplié et pour lequel je citerai les noms suivants : Azolino (7), Barlow (8), Barnes, Bartlett, Beaumont, Bergstrœm, Braconnier, Burleigh (9), Cassart et Lepourcq, Cornet et Deschamps, Crease, Darlington-Blanzy-Levet (10), Dau-

(1) Aguillon : Progrès accomplis dans l'art des mines depuis l'Exposition (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome VIII, page 54).
(2) *Revue universelle des mines et des usines*, tomes XXIII-XXIV.
(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXX, page 146.
Journal *la Nature*, du 24 octobre 1874, page 327.
Compte rendu mensuel, mai 1879, page 117.
(4) *Compte rendu mensuel*, juillet 1875, page 91.
(5) *Cours d'exploitation des mines*, tome I, page 229.
(6) *Annales des mines*, 7ᵉ série, tome XV, page 427.
(7) Habets, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXXVI, p. 106.
(8) *Engineering*, 8 octobre 1875, page 274.
(9) *Revue industrielle*, 29 avril 1874, page 129.
(10) *Compte rendu mensuel*, décembre 1875, page 9.
La *machine tubulaire*, pour tracer les galeries au charbon, figurait dans l'exposition de Blanzy. On la trouve représentée dans l'*Étude sur le grisou* de M. Mathet, page 100 (lithographiée).

mont (1), Dœring, Dron (2), Dubois-François (3), Dunn (4), Eschenbacher, Ferroux (5), Fontenay, Green, Guénez (6), Hagans, Harrison, Hathorn, Haupt, Hipp, Ingersoll (7), Jordan, Kainotomon, Low, Mac-Dermott (8), Mac-Kean (9), Mahler, Mercier (10), Osterkamp, Rosenkrantz, Sachs (11), Schramm, Schumann, Simpson, Sotzmann, Sturgeon, Tacquenier et Cranston, Trantz (12), Turettini (13), Warington (14), Wincqz, etc. Un certain nombre de ces appareils figuraient à l'Exposition de 1878.

Dans ces machines, le fleuret doit être animé de trois mouvements distincts. En premier lieu, celui de va-et-vient, qui détermine le choc. La distribution de l'air comprimé pour le produire se fait parfois par le piston lui-même, comme dans le Darlington-Blanzy, ou à l'aide d'un tiroir. Dans ce dernier cas, cet organe peut être lié géométriquement au piston, comme dans le Burleigh, ou en être indépendant, comme dans le Dubois-François. Ce dernier type est évidemment préférable, afin que le tiroir puisse achever sa fonction et faire ramener le piston par l'air, quand il a été, par une cause quelconque, arrêté dans son coup direct avant d'être à fond de course.

En second lieu, le mouvement de rotation du fleuret sur son axe, pour éviter le coincement dans le trou et donner à celui-ci la section circulaire. Cet effet est déterminé soit par un déclic à bascule, comme dans le Dubois-François, soit plus simplement à l'aide d'une rainure héliçoïdale.

---

(1) Alfred Évrard : *Traité pratique de l'exploitation des mines*, page 143.

(2) *Revue universelle des mines et des usines*, 2e série, tome III, page 682.

(3) *Annales des mines*, 7e série, tome XV, page 434.

(4) *Compte rendu mensuel*, décembre 1878, page 263.

(5) Rapports trimestriels au gouvernement fédéral sur le percement du Saint-Gothard. — *Annales des mines*, 7e série, tome XV, pages 436 et 441.
La perforation mécanique, par G. Hanarte. Mons, chez Dacquin, 1879, p. 48.
The Engineer, 30 avril 1875, page 9.
Revue universelle des mines et des usines, 2e série, tome III, page 686.

(6) Article très-intéressant de M. Guénez, des mines de Nœux (*Bulletin de la Société des anciens élèves des Écoles des arts et métiers*, septembre 1878).

(7) *Revue universelle des mines et des usines*, 2e série, tome I, page 192.
Compte rendu mensuel, juillet 1875, page 11.

(8) *Les mondes*, tome XXXII, page 537.

(9) *Revue industrielle*, de Fontaine et Buquet, 9 décembre 1874, et 26 mai 1875. — *Annales des mines*, 7e série, tome XV, page 443.

(10) Alfred Évrard : *Traité pratique d'exploitation des mines*, t. I, p. 138.

(11) Pernolet : *Annales des mines*, 7e série, tome I, page 22.

(12) *Compte rendu mensuel*, novembre 1877.

(13) *Ibidem*, novembre 1876, p. 1. — *Ann. des mines*, 7e sér., t. XV, p. 445.

(14) Appelé *Power Jumper* (*Ibidem*, juillet 1875, page 10).

Enfin le mouvement de progression pour suivre l'approfondissement du trou. La liaison géométrique doit être proscrite sous ce rapport à cause du défaut de constance de la vitesse d'avancement. Dans le système Perroux, la pression de l'air comprimé détermine cette progression. Mais on regarde généralement comme préférable de la laisser effectuer par la main de l'ouvrier. On réduit ainsi la complication de l'appareil en y supprimant un certain nombre de pièces délicates, et l'on peut lui donner une constitution plus robuste pour résister aux réactions qu'il subit.

La tendance actuelle est de substituer aux coups violents et peu nombreux une grande multiplicité de chocs moins intenses. On arrive par là à maintenir la roche dans un état de vibration incessant qui en facilite la désagrégation et fatigue moins l'outil. C'est ainsi que le Mac-Kean notamment a réalisé parfois le chiffre exorbitant de mille coups par minute.

Perforation verticale. — La perforation mécanique commence à figurer dans le fonçage des puits (1). On peut citer notamment le puits de Gegenort (Sarrebrück), avec le perforateur Sachs et 0m,17 d'avancement moyen en 24 heures; celui de Wérister (pays de Liége) avec le Dubois-François et 0m,60 d'avancement; l'avaleresse de Rossitz (Moravie) (2); le puits de Drybroot (3); un puits de Seraing, avec un approfondissement journalier de 1 mètre; celui de Rimognes (Ardennes), à 0m,45; les puits nos 3 et 4 de L'hôpital (Sarre-et-Moselle), sous la direction de M. Lévy; celui de Saint-Amédée, de la compagnie de Blanzy, qui avait exposé au Champ-de-Mars toute une installation de perforation verticale.

Il faut encore citer dans cet ordre d'idées le fonçage des puits à l'aide de la perforation au diamant (4), exécuté à Pottsville (Pensylvanie). On y a foncé simultanément deux puits à 200 mètres

---

(1) Chansselle : Application des perforatrices au creusement des puits (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXI, page 452).
Leduc : Perforation verticale (*Ibidem*, 1875, tome II, page 444).
Compte rendu mensuel, mars 1876, page 1.
J. Lévy : Application des compresseurs et perforateurs au sondage des puits de mines (mémoire qui renferme une intéressante étude de l'appareil Dubois-François) (*Bulletin de la société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VI, page 677).
(2) Evrard : *Traité pratique de l'exploitation des mines*, tome I, page 169.
Revue universelle des mines et des usines, tome XXXVI, page 116.
(3) *Ibidem*, page 170.
(4) *Zeitschrift für den Berg, Hütten und Salinenwesen*, t. XXIV, p. 169.
Sauvage, *Annales des mines*, 7e série, tome VII, page 22.

l'un de l'autre, en forant dans l'un pendant qu'on procédait au sautage dans l'autre. On perçait 25 trous dans le premier, qui avait une section de 4m,88 sur 4m,22 et 35 dans le second, de 7m,82 sur 4m,22. Ces trous, de 45 millimètres de diamètre, étaient forés d'un seul coup jusqu'à une profondeur de 75 à 90 mètres, puis remplis de sable. On les débarrassait ensuite de ce sable sur la hauteur d'un coup de mine ordinaire pour les charger de dualine et les enflammer au moyen de l'électricité. La perforation au diamant vient également d'être appliquée pour le fonçage du puits Hœrris, à Quakers'yard, dans le sud du pays de Galles (1), avec un avancement d'environ 1m,05 par 24 heures.

Haveuses. — L'emploi du travail mécanique pour le havage, qui est d'un usage courant en Angleterre, a toujours très-mal réussi en France. Il y arrive beaucoup plus rarement que chez nos voisins que la houille se tienne bien sur une grande surface; et s'il n'en est pas ainsi, l'opération perd tous ses avantages (2). La substitution des engins mécaniques au travail à la main a du reste moins d'intérêt pour le dépilage, qui est la fonction essentielle des haveuses et dans lequel l'ouvrier produit davantage, que dans le traçage à section étroite, surtout quand celui-ci est pratiqué dans le rocher. Des essais de havage à l'air comprimé ont eu lieu notamment à Anzin et à Blanzy (3).

Je me bornerai à citer les noms des haveuses Baird, von Balzberg, Benson, Birkenshaw, Braconnier, Carret et Marshall, Firth, Gay (4), Jones et Lewick, Kirkley, Muller et Roux (l'économique), Simson, Wallaury et Bucquet, West-Ardley, Winstanley (5), etc. L'instrument d'attaque est tantôt la gouge, tantôt le burin procédant par une série de trous rapprochés et placés dans un même plan, comme dans le nouvel appareil de Blanzy; la scie d'acier ou enfin la scie de diamants, comme dans le système Taverdon (6). L'appareil Beernaert, qui figurait comme ce dernier à l'Exposition, sert à pratiquer des rouillures; son fleuret ne tourne pas sur lui-même.

(1) Lecornu, *Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 334.

(2) *Revue universelle des mines et des usines*, tomes XXIII-XXIV, p. 298. A. Janota : Expériences avec une machine à couper le sel, à Wiliczka (*Œsterreichische Zeitschrift für den Berg und Hüttenwesen*, tome XXV, page 277).

(3) Petitjean, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VI, page 505.

(4) Callon : *Cours d'exploitation des mines*, tome I, page 211.

(5) *Ibidem*, page 220.

(6) *Journal des mines*, 1878, page 627.

§ III. — Puits et galeries.

Conservation des bois. — La question de l'injection des bois continue à rester à l'ordre du jour. Elle présente pourtant une importance moins grande que pour l'industrie des chemins de fer, car les cadres sont bien souvent brisés par la charge avant d'être détruits par la décomposition. Cependant un véritable intérêt s'attache à cette question en raison de l'énorme consommation occasionnée par les mines. Elle s'est élevée en France, pour l'année 1876, à 738.900 stères, ce qui représente la production de 184.800 hectares de forêts. Rapportée à l'extraction du combustible, elle correspond à $0^{m3},047$ de bois et environ $0^{f},96$ par tonne de houille, capable du reste par elle-même d'un pouvoir calorifique 187 fois plus grand (1).

M. Lostal fait digérer les bois dans un lait de chaux (2). Ce procédé a été installé à la houillère de Prades (Ardèche). La dépense est revenue à $1^{f},71$ par mètre cube ou $0^{f},062$ par mètre courant. M. Couderc, directeur de Prades, estime que les bois sont rendus moins cassants que dans leur état naturel, à l'inverse de ce qu'on a reproché aux dissolutions métalliques avec longue immersion. Le chaulage lui paraît doubler la durée. Cependant le chêne a un tissu trop serré pour en éprouver une véritable influence. Ce même procédé a été essayé dans la gare de Firminy par la compagnie du chemin de fer de Paris à la Méditerranée.

Des essais ont été faits également dans d'autres directions. Le flambage produit peu d'effet. Le goudronnage laisse les bois poisseux et odorants. La saumure paraît préserver les bois dans les mines de sel, mais elle les rend très-cassants. On a essayé de même le chlorure de zinc et celui de calcium, mais ce dernier est très-hygroscopique. Les eaux vitrioliques que donnent beaucoup de mines peuvent être également utilisées pour cet usage.

Depuis longtemps M. Fayol a systématisé à Commentry l'emploi du sulfate de fer, et son procédé a été de même pratiqué au Montceau-les-Mines (3). L'immersion dure seulement 24 heures pour éviter de rendre le bois cassant, et l'inventeur annonce qu'elle décuple la durée. L'opération revient à $0^{f},05$ par mètre courant.

(1) De Thélu, inspecteur des forêts : *Notice sur les étais de mines en France.* In-4°.
(2) *Compte rendu mensuel,* novembre 1877, page 7.
(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale,* 2e série, t. III, p. 569. *Compte rendu mensuel,* février 1878, page 38.

M. Fayol a fait des expériences comparatives portant à la fois sur l'essence des bois et la nature de l'agent de préservation (1). Les chiffres de durée ont été établis en prenant pour unité celui du bois naturel et considérant comme usées les pièces qui ont perdu la moitié de leur résistance. Ils sont résumés dans le tableau suivant :

ESSENCES.	ÉTAT naturel.	EAU de mine.	CARBONI-SATION.	GOUDRON.	CRÉOSOTE.	SULFATE de cuivre.	SULFATE de fer.	CHLORURE de zinc.
Chêne	1,00	10,40	1,00	14,40	3,60	38,40	28,80	14,40
Pin maritime.	1,00	1,00	1,00	»	40,00	5,33	2,66	8,00
Verne	1,00	1,00	1,00	2,11	40,00	4,00	10,00	40,00
Hêtre.	1,00	1,00	1,37	6,00	1,75	50,00	7,50	50,00
Acacia.	1,00	1,20	7,22	5,33	2,20	8,00	26,60	40,00
Charme	1,00	3,00	2.50	7,00	15,00	»	12,00	50,00
Érable.	1,00	2,50	3,00	6,00	12.00	7,50	»	»
Cerisier	1,00	1,66	»	3,16	»	2,50	1,83	»
Tremble.	1,00	1,00	»	2,50	»	2,50	8,00	»
Bouleau	1,00	1,00	»	»	»	2,66	13,33	50,00
Peuplier.	1,00	1,00	»	2,20	»	11,38	2,61	»
Alisier.	1,00	»	»	1,00	»	»	50,00	20,00

Quant à la valeur absolue de la durée de chaque essence, elle est fournie par les nombres suivants :

Chêne	50	mois.
Hêtre.	24	—
Verne	18	—
Pin.	18	—
Cerisier	18	—
Tremble.	18	—
Bouleau	18	—
Peuplier.	18	—
Acacia	9	—
Charme	6	—
Érable	6	—

Boisage. — M. Chansselle a appelé l'attention (2) sur un modèle de cadre très-solide qu'on appelle, sans motifs du reste, *boisage à l'anglaise*, ou encore *boisage armé* ou *longuerinage*. Ce type est connu depuis 1850 à Rive-de-Gier et à Montrambert. Il tend à se répandre dans le bassin de la Loire, à Saint-Éloy, etc. A l'intérieur d'un cadre ordinaire de grande section, formé de deux montants et d'un chapeau, on place un faux cadre composé de courts montants d'où partent des jambes de force soutenant le milieu du chapeau. On arrive ainsi à étrésillonner les points les plus cri-

(1) *Compte rendu mensuel*, juin 1878, page 118.
(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. III, p. 709.

tiques des trois pièces du cadre principal. En outre, les cadres d'une même galerie sont rendus solidaires par des longerons qui règnent de l'un à l'autre. Le rapport du prix d'un cadre à l'anglaise à celui du mode ordinaire est ressorti à 1,20. On a vu de tels boisages durer deux ans, là où le revêtement ordinaire était mis hors de service au bout de deux ou trois mois.

Parmi les ouvrages exceptionnels, je citerai encore les cadres parallilépipédiques du Comstock et les voûtes en bois. Déjà employées depuis longtemps à Hallstadt (1), elles ont été perfectionnées à Mariemont. Ce sont de véritables appareils en briques deux fois goudronnées, de $0^m,20$ sur $0^m,30$ et $0^m,40$, consolidées de distance en distance par des cercles de fer assemblés à l'aide de vis à bois, et par des cales longitudinales en bois qui enchâssent chaque anneau avec l'anneau adjacent. Cet ouvrage est cher, mais solide, et réservé pour des passées difficiles.

Quant à la façon des bois, on sait combien elle est élémentaire et se prête peu, par suite, à des perfectionnements bien sensibles. Il convient de citer cependant l'emploi des moyens mécaniques dans la *machine à encocher* de Montceau-les-Mines, et les machines à fabriquer les picots dans le bassin du Pas-de-Calais.

Déboisage. — Quand la nature du gîte le permet, que la couronne est solide et donne avec ensemble sans coups de charge irréguliers, on diminue beaucoup l'aliment de l'incendie et la dépense du soutènement, par un déboisage conduit avec prudence, mais aussi complet que possible. M. Fayol annonce (2) que cette économie est de moitié à Commentry. On retire tout ce qu'on peut avant et pendant le remblayage, et on arrache encore avec un cric les bois des parties remblayées dont on rencontre la tête en tranche supérieure. On a soin pour ce motif de les placer le gros bout en haut. Dans les parties exploitées par foudroyage du toit, on retire les bois à l'aide d'un petit treuil. M. Lemière a décrit cette opération (3), en entrant dans des détails trop minutieux pour qu'il soit possible de les reproduire ici, mais nécessaires pour la bien faire comprendre, et pour lesquels on pourra se reporter à sa communication.

Muraillement. — M. Trasenster a signalé dernièrement les cuve-

(1) Keller, *Annales des mines*, 6e série, tome II, page 1.
(2) *Compte rendu mensuel*, juin 1878, page 120.
(3) *Compte rendu mensuel*, mars 1878, page 50.

lages en pierres de taille (1). Il y a une vingtaine d'années, on a employé dans le bassin de la Rhur les pierres volcaniques de Niedermendig. A Liége on fait des cuvelages avec un calcaire appelé *petit granit*. A la mine du Horloz on a même garni un cuvelage en fonte d'un revêtement en pierres pour en assurer la solidité. « Ces ouvrages, d'après M. Trasenster, sont inaltérables, coûtent moins que le bois et offrent une résistance au moins double. Les joints font corps avec la pierre, au lieu de s'altérer comme les calfatages et les picotages. D'ailleurs les joints défectueux peuvent être calfatés et picotés tout aussi bien que dans les cuvelages ordinaires. Enfin ces appareils sont plus solides que la fonte et peuvent supporter des pompes. Ils sont seulement plus longs à poser et exigent plus de soin que le boisage ou le revêtement métallique. »

M. Chansselle (2) a employé dans les houillères de Saint-Étienne des moellons de grès et aussi des alternances de moellons et de briques dont on attend un certain degré de cette souplesse qui manque complétement à la maçonnerie. Il a eu également recours à un bétonnage par anneaux superposés, moulés sur place et enfin à des moellons en mortier de ciment. Il a donné à la suite de son mémoire un tableau d'expériences d'écrasement que l'on pourra consulter pour obtenir une appréciation précise de ces divers modes de revêtement.

MM. Domage et Saclier ont rencontré dans un puits de Brassac une difficulté toute spéciale. La section du fonçage s'est trouvée à un certain moment mi-partie dans le solide et mi-partie dans une masse sans consistance. On a levé cette difficulté dans le muraillement en composant celui-ci d'arceaux inclinés, et par suite elliptiques, dont les naissances étaient prises sur le solide et dont la clef et les reins résistaient à la pression des matières ébouleuses.

Je citerai encore comme opération intéressante la substitution du muraillement au cuvelage, sans interrompre le service de l'extraction, qui a été décrite par M. Cheneux (3).

Blindage des galeries. — Les revêtements métalliques des galeries se répandent beaucoup. Ils présentent naturellement une très-grande solidité qui les recommande pour les ouvrages de longue durée, et les quartiers difficiles dont les mouvements dislo-

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VI, p. 12.
(2) *Ibidem*, 2e série, tome III, page 723.
(3) *Annales des travaux publics de Belgique*, tome XXV, page 389.

queraient la maçonnerie ou occasionneraient un entretien incessant des boisages. Le prix élevé de la matière première se réduit quand on emploie de vieux rails et peu d'organes spéciaux. Du reste, les pièces sont inusables et conservent indéfiniment leur valeur, si on vient à les reporter sur un autre point ou à les vendre. On rencontre ce mode de soutènement au Creusot, où M. Blauzat a su pressentir de bonne heure l'importance de cette innovation pour les conditions dans lesquelles se trouve placée cette mine (1), à Commentry, dans les parties menacées par le feu (2), à Ferfay, à Ronchamp, à Mazenay, à Bois-du-Luc (Hainaut), à Zwickau (Saxe), à Steierdorf (Banat) (3), à Kladno (Bohême), au Hartz, etc.

MM. de Wendel forgent à Hayange, pour le bassin de Sarrebrük, des fers à T composés d'une partie rectiligne terminée par un quart de cercle. En les assemblant deux à deux, on constitue les piédroits et le plein cintre d'une voûte éclissée à la clef. D'autres pièces sont terminées aux deux extrémités par un quart de cercle, pour fermer un profil complet dans les parties de la mine qui l'exigent.

A Mariemont, on a constitué de véritables tubes circulaires en fer à l'aide de vieux rails courbés en arc de cercle de 120°, et assemblés trois par trois à l'aide de manchons, de manière à former un arceau complet. Des rails rectilignes règnent de l'un à l'autre en forme de couchis (4), pour déterminer la solidarité générale de l'appareil.

Blindage des puits. — Si le fer joue un certain rôle dans les galeries, les revêtements métalliques prennent dans les puits une bien plus grande importance. On les fait par panneaux ou par rondelles entières, ou même à l'aide de fers en U (5).

Un exemple remarquable du premier mode se trouve dans les deux avaleresses de Roncourt, foncées à niveau bas en 1876, sous l'habile direction de MM. Vuillemin et Dombre. Le diamètre utile est de 4 mètres. L'épaisseur varie de 3 à 4 centimètres. Chaque anneau a 1^m,20 de hauteur, et comprend six segments. Six treuils placés au jour permettaient, une fois la descente des pièces effec-

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. III, p. 563 et 569.
(2) *Compte rendu mensuel*, juin 1878, page 119.
(3) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXVI, page 137.
(4) *Compte rendu mensuel*, juillet 1875, pages 7 et 9.
(5) Au charbonnage de Dudweiler, dans le bassin de Sarrebrück (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXVI, page 135).

tuée par la machine d'extraction, de faire les manœuvres de précision pour l'ajustage. On réunissait ensuite leurs efforts pour enlever l'anneau une fois assemblé, et étaler une bande de plomb de 4 millimètres entre lui et le précédent. On picotait chaque reprise de 8 ou 10 mètres. Chacune des retraites comprises entre deux picotages successifs était fermée à l'aide d'une clef conique régnant sur tout le pourtour et formée elle-même de six segments. Après les avoir entrés de biais, on les rappelait à l'aide de vis et on les boulonnait avec les anneaux supérieur et inférieur. On arrivait à poser deux anneaux par 24 heures, avec 25 poseurs, 12 manœuvres aux manivelles, 2 machinistes, 2 chauffeurs, 2 moulineurs. D'après des renseignements provisoires, le prix du mètre courant revenait environ à 1.200 francs et la pose à 200 francs. C'est à peu près moitié plus que n'eût coûté le cuvelage en bois, mais en revanche l'entretien ultérieur de la fonte est nul, et le cube de déblai se trouve diminué en raison du peu d'épaisseur du revêtement.

On vient de poser une reprise de cuvelage en fonte dans le puits Saint-Laurent du Creusot, où la séparation du grès bigarré et du terrain houiller déterminait depuis longtemps un mouvement irrésistible dans la maçonnerie (1). Un travail analogue avait été exécuté il y a une vingtaine d'années par M. Demilly à Hardinghem, à la séparation du calcaire carbonifère et du terrain houiller, et a servi depuis de modèle à plusieurs autres, tels que ceux de Lescarpelle (2), de Sainte-Stéphanie (Moselle), etc.

Procédé Chaudron. — Le revêtement par couronnes figure essentiellement dans le procédé Chaudron. Cette admirable méthode de fonçage a fait un chemin si rapide entre les mains de l'inventeur et de son ingénieur principal, M. Chastelain, et elle est tellement entrée dans la pratique, que nous n'avons ici qu'à constater une fois de plus son succès.

Une discussion des plus intéressantes s'est engagée à son sujet au Congrès minéral de Douai en 1876. Plusieurs ingénieurs du Pas-de-Calais, de premier mérite, persistent à affronter les difficultés, les venues d'eau atteignant 1.300 (3) et 1.500 (4) mètres cubes à l'heure, les chances d'insuccès et les énormes dépenses du fon-

(1) Durand, *Compte rendu mensuel*, mars 1879, page 49.
(2) Guyon, *Compte rendu mensuel*, mai 1878, page 114.
(3) Avaleresse n° 5 de Courrières, d'après M. Dalayrac.
(4) Fonçage de Ceply (Belgique), d'après M. Guibal.

çage à niveau bas, pour s'assurer ensuite l'avantage de la solidité et de la souplesse des anciens cuvelages, éprouvées par l'expérience d'un siècle. L'habile directeur de la Compagnie de Sarre-et-Moselle, M. Lévy s'est constitué, au contraire, le défenseur du procédé Chaudron, avant l'invention duquel le bassin de la Moselle avait vu se produire des échecs mémorables après de formidables dépenses : 1.400.000 francs avant l'abandon du puits de Falk, 3.709.000 francs avant l'arrêt du puits de Merlebach, au bout de sept ans (1). Le puits de Carling a réussi et son cuvelage a été assis à 161 mètres, mais après une dépense de 2.200.000 francs et quatre ans et demi d'efforts, ce qui, rapporté à l'unité de longueur, représente plus de 100 jours et de 13.600 francs par mètre courant.

L'une des principales objections faites au système Chaudron porte sur la raideur absolue de la colonne métallique dans des terrains susceptibles de mouvements transversaux, et aussi la grande difficulté de réparer ses avaries. Mais, d'une part, la double catastrophe de Marles a montré que les cuvelages ordinaires ne sont pas absolument garantis contre ces effets, et de plus, M. Lévy a pris soin de rassembler, dans le mémoire que j'ai cité, un certain nombre d'exemples de réparations de tubes Chaudron. Ces accidents proviennent le plus souvent de ce que le terrain travaille pendant le sondage et ovalise la section. Dès lors la colonne a peine à passer ; il faut forcer son introduction ; sous l'influence de cette pression, il peut se produire un choc au moment où l'obstacle cède et le cuvelage peut en être brisé. On a réussi à aveugler des fissures au moyen de plaques de cuivre bien rivées. On a aussi quelquefois passé un anneau de fonte d'un diamètre exactement suffisant en l'assemblant avec l'anneau fêlé au moyen de plomb maté avec soin. Parfois, après avoir réussi à poser des trousses picotées dans le terrain solide, on les a prises comme base d'un nouveau cuvelage élevé dans l'intérieur jusqu'au-dessus de la partie endommagée, quand elle est près du fond.

Un accident des plus critiques, survenu dans la descente du cuvelage n° 5 de Marles, a mis sur la voie d'une modification du procédé, qui est en train de prendre rang dans la pratique courante, pour certains cas au moins (2). Un défaut d'étanchéité du joint inférieur admettant l'eau avec une vitesse toujours croissante, celle-ci montait de 0^{m},30 à l'heure dans la colonne. Les tirants de suspension se trouvèrent surchargés et l'un d'eux se rompit. Il

(1) Lévy : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VI.

(2) Delcommune, *Compte rendu mensuel*, janvier 1877, p. 7.

restait encore douze pièces à poser, ce qui représentait le travail de trois jours avec le mode ordinaire. En présence d'une catastrophe imminente, les ingénieurs de Marles et de la Société Chaudron prirent un parti héroïque. On jugea qu'on pouvait, en supprimant les tirants et se bornant au travail d'assemblage, monter la colonne assez vite pour maintenir à peu près constante la distance entre le bord supérieur et l'eau. On dételа donc tous les tirants; les douze anneaux furent posés en deux jours, la boîte à mousse fonctionna et le succès fut complet. Les ingénieurs de la Compagnie Chaudron ont vu là un encouragement à employer ce procédé pour le second puits de Marles, dès que l'assemblage de la boîte à mousse, du faux-fond et de quelques anneaux y ont constitué un tube flottant. La charge d'eau se réglait comme à l'ordinaire et la vitesse s'est trouvée doublée. De là une tendance actuelle à supprimer le tube d'équilibre, sur la valeur de laquelle une pratique plus prolongée pourra seule décider.

MM. Tillier et Passelecq ont imaginé une modification plus radicale encore (1). Dans leur système, les anneaux sont indépendants et descendent l'un après l'autre. Des biseaux de caoutchouc, disposés sous leur surface inférieure, se compriment entre eux ainsi qu'entre le premier et le fond du puits pour assurer l'étanchéité. Trois œillets sont pratiqués dans les oreilles de ces anneaux et servent à les guider avec précision le long d'autant de tiges verticales. Les inventeurs attendent de cette manière de procéder plus de vitesse et par suite moins d'éboulements des parois, la facilité de pouvoir passer des cureurs en tout temps pendant la descente, et une certaine flexibilité de l'ensemble. La pratique seule pourra décider de ce qu'il y a de fondé dans ces espérances, malgré les appréhensions de la plupart des praticiens. Ces joints de caoutchouc figuraient au Champ-de-Mars, dans l'exposition de M. Somsée de Liége.

Fonçage sous stot. — Le procédé de réavalement des puits, en passant sous le fond est souvent appliqué (2). On y trouve l'avantage de ne pas interrompre le service et de pouvoir établir des chantiers à diverses hauteurs pour activer le fonçage, de même

(1) Laguesse, *Revue universelle des mines et des usines*, 1877, t. I, p. 447.

(2) H. Glépin : Fonçage sous stot (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXI, page 1).

Demanet : Fonçage des puits en montant (*Annales des travaux publics de Belgique*, tome XXVIII, page 77).

que l'on attaque les tunnels par un certain nombre de puits intermédiaires pour abréger d'autant leur percement. Chaque point d'attaque peut même fournir deux chantiers, l'un montant, l'autre descendant. Le mode montant peut être conduit en échafaudant des planchers en chicane, ou en travaillant sur le remblai dans une moitié de la section et gardant les deux autres quarts pour le passage des hommes et la descente de l'excédant de matières ainsi que pour l'aérage.

On a procédé ainsi à la fosse Renard (Anzin) et au puits de Créal (Bességes). Le n° 4 de la concession de Marles a été approfondi sous stot, par MM. Micha et Delcommune, au moyen d'un petit bure latéral et d'une machine intérieure (1). Un réavalement analogue a été effectué à Aniche, par MM. Vuillemin et Dombre, au moyen d'un bure voisin et d'un renvoi de force transmis du jour par un câble spécial installé avec une assez grande précision pour que les manœuvres pussent se faire avec exactitude. Un fonçage sous le stot a été de même effectué à Saint-Étienne au puits Saint-Louis, avec le secours de l'air comprimé comme force motrice (2).

Il faut encore citer à cet égard le procédé de M. Lisbet. On commence par barrer les eaux et épuiser le bouniou. On approfondit de 4 mètres le plus rapidement possible sur un segment du cercle de section. On installe deux tubes de fonte, l'un de 1 mètre de diamètre pour le passage de la benne, et l'autre plus petit pour le retour d'air, puis on remplit le reste de la section de ce segment à l'aide de béton, après s'être élargi au-dessous de la corniche jusqu'aux dimensions normales du réavalement. On ramène alors les eaux dans le puisard où les tuyaux s'élèvent au-dessus de leur niveau. A partir de ce moment on travaille sous le stot. Une petite machine effectue la sortie des matières avec une benne non équilibrée et sans interrompre l'extraction normale au-dessus du puisard. Par cette méthode on obtient une sécurité complète pour le raccordement des deux travées du puits, tandis que les opérations de topographie souterraine, conduites de loin à travers un réseau de travaux, peuvent laisser planer quelque incertitude qui, malgré son peu d'importance pour l'ensemble de la section, peut néanmoins compromettre la précision si essentielle de la pose des guidonnages.

---

(1) Delcommune : Note sur un nouveau mode d'approfondissement sous stot. Bruxelles, chez Blasseau (reproduit dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 819.

(2) Desjoyeaux, *Compte rendu mensuel*, mars 1879, page 78.

Dimensions des puits. — Le diamètre des fonçages Chaudron, ordinairement compris entre 3 et 4 mètres, a subi dans quelques exemples tout récents une augmentation importante. A Bracquégnies (Belgique) on a atteint 4 mètres ; à Cannock (Staffordshire), 4ᵐ,58 ; sur la rive droite de la Tyne, à mi-chemin de Tynemouth et de Sunderland (Newcastle), 5 mètres. C'est le maximum qui ait jamais été réalisé avec ce procédé (1), et l'on a dû pour cela établir sur place une fonderie pour couler les anneaux qu'il était impossible d'amener de loin. Quant à la profondeur, on peut citer parmi les plus remarquables :

MINES.	HAUTEUR CUVELÉE.	PROFONDEUR.
Dorignies (Lescarpelle)	101,9	104,0
Rothausen (Westphalie)	104,5	104,5
Annezin (Vendin)	106,7	111.3
Onnanig (Crespin)	107,5	109,0
L'hôpital n° 2 (Sarre-et-Moselle)	143,0	159,3
L'hôpital n° 1 (Sarre-et-Moselle)	144,0	159,0
Maurage (Belgique)	160,0	190,0
L'hôpital n° 3 (Sarre-et-Moselle)	161,6	181,0

Les puits de Strépy-Bracquégnies auront à traverser 235 mètres de morts-terrains et ceux de Ghlin (nord du Flénu) nécessiteront des cuvelages de 300 mètres et de 1.800 tonnes. Ils devront traverser des formations quaternaires et tertiaires très-abondantes, et rencontrer à la base la meule et les sables si redoutés des mineurs.

Pour les puits foncés par les procédés ordinaires, on est arrivé dans ces derniers temps à des dimensions extraordinaires. On a atteint 6ᵐ,50 pour le diamètre des puits circulaires dans le bassin de Zwickau, et des sections rectangulaires de 2 à 3 mètres sur 8 à 10 mètres. A Kladno, le puits Franz-Joseph à 2 sur 10 mètres, et le puits Engerth 4ᵐ,40 sur 9 mètres. Le puits de la compagnie Lehig et Wilkie-Barre (anthracites de Pensylvanie), présente 13ᵐ,73 sur 3ᵐ,43 (2). Ces excès peu rationnels ont du reste été punis par l'effondrement de plusieurs puits. On peut citer sous ce rapport, comme exemple d'un véritable vertige, le puits des mines d'or de Berezowski (Sibérie), dont la section formait un rectangle de 7ᵐ,85 sur 9ᵐ,85. Revêtu de cadres de bois à peine solidarisés entre eux, cet ouvrage s'est effondré en arrivant à la profondeur de

(1) *Compte rendu mensuel*, janvier 1877, page 11.
(2) *Écho des mines*, 1877, page 536.

55 mètres, et a entraîné dans l'abîme les constructions et les machines.

En ce qui concerne la profondeur, on doit citer le puits Adalbert de Przibram, qui a atteint en 1875 le niveau de 1.000 mètres, et que l'on continue à approfondir avec la pensée d'arriver un jour à 1.200 mètres. Le puits de Damprémy (Sacré-Madame) a également atteint 1.000 mètres (1). M. Davey vient d'établir pour la mine d'argent de East Hetton (Nevada) (2) une machine d'épuisement calculée pour la hauteur *projetée* de 1.220 mètres et un débit de 2.270 litres par minute. La plus grande profondeur mentionnée pour la France dans la statistique minérale (publiée en 1878 pour les années 1873-1875) est de 636 mètres dans le département du Nord et 616 mètres dans la Loire (3).

§ IV. — Méthodes d'exploitation.

Observations générales — Je dois avant tout signaler comme une des meilleures garanties du progrès la tendance qui s'accuse de jour en jour, dans un grand nombre de mines, à prendre de plus en plus au sérieux la méthode d'exploitation et à en imposer l'application d'une manière étroite pour recueillir les avantages de cette régularité. Les exploitations de Bessèges, la Grand'Combe, Beaubrun, Decize, et bien d'autres, peuvent être citées comme des types sous ce rapport. Mais nulle part cette rigueur n'est plus marquée qu'à Montrambert, pour réaliser cette formule de son éminent ingénieur principal : « Une méthode médiocre, mais pratiquement observée, présente plus d'avantages qu'une méthode théoriquement excellente, mais imparfaitement appliquée (4). »

Je dois signaler également la tendance toujours plus marquée à la grande concentration des travaux dans un petit espace. Par là, en effet, on facilite la surveillance des ouvriers, on diminue l'entretien des voies, qui sont moins nombreuses et durent moins longtemps. On active autant que possible le déhouillement d'un quartier, de manière à ne pas donner au combustible le temps de travailler et de s'échauffer. On obtient plus de gros, parce que le dépilage suit de près le traçage, avant que le charbon ait pu se

(1) *The Engineer*, 12 janvier 1877, page 30.
(2) *Engineering*, 17 novembre 1876, page 425.
(3) *Statistique de l'industrie minérale*, page VII.
(4) Devillaine : *Notice sur la société anonyme des houillères de Montrambert et la Béraudière*, page 72. Saint-Étienne, 1878.

fatiguer. Cette grande intensité de la production par unité de surface est aussi favorable à l'établissement de la traction mécanique, qui serait impossible en substituant à ces foyers de production une grande dissémination. A Montrambert, on est arrivé au chiffre de 6 à 8 tonnes par an sur chaque mètre de surface, en prenant pour base la moyenne du développement des chantiers dans toute l'année.

Il est toutefois nécessaire d'ajouter que cette tendance a été fortement battue en brèche sous le point de vue des ravages de plus en plus effrayants occasionnés par les coups de grisou. D'une part, en effet, lorsqu'un quartier vient à sauter, la mortalité est en raison de la population souterraine qui s'y trouve réunie avec une plus grande densité qu'autrefois. En outre, on admet à juste titre que le dégagement de grisou, toutes choses égales d'ailleurs, est proportionnel à l'étendue des surfaces mises à vif, et par suite au chiffre de la production. En surmenant donc cette donnée pour un même espace, on augmente le danger, et on rend ainsi les coups de feu à la fois plus probables et plus meurtriers.

La vérité qui se dégage de ces considérations paraît être que dans les gîtes non grisouteux la question n'est pas douteuse, et que la concentration n'offre pour ainsi dire que des avantages. Quant aux autres, la présence du gaz oblige à garder sous ce rapport une certaine mesure et crée l'obligation, d'autant plus étroite que l'agglomération sera plus marquée, d'apporter une attention spéciale au service de l'aérage. En outre, il sera bon, en concentrant le développement de chaque chantier, une fois réduit au chiffre d'ouvriers que l'on aura jugé convenable, d'établir une grande indépendance entre les divers ateliers pour prévenir, s'il est possible, l'universalité des sinistres.

La période qui s'achève a vu se continuer le mouvement si remarquable, commencé depuis une quarantaine d'années, pour perfectionner les méthodes d'exploitation, les adapter aussi exactement que possible aux conditions des divers gisements, et par suite les diversifier de plus en plus. Il s'en faut de beaucoup aujourd'hui que leur nomenclature soit aussi réduite et aussi simple qu'autrefois. Je me contenterai ici de rappeler simplement par leur nom celles qui sont classiques et bien connues. J'entrerai dans une discussion plus circonstanciée pour celles dont l'application s'est particulièrement étendue dans ces derniers temps. Enfin je décrirai avec les détails nécessaires les variantes qui ont été récemment introduites.

Toutes les méthodes d'exploitation, quand on les réduit à leur

dernière expression, peuvent être ramenées à trois principes fondamentaux, du reste bien inégalement représentés dans l'application : 1° celui de l'abandon définitif de piliers massifs pour soutenir le toit au-dessus des parties enlevées; 2° l'éboulement du toit après l'enlèvement du gîte; 3° le remblayage complet des vides produits par l'exploitation.

1° *Abandon de piliers massifs.* — Ce premier principe est tellement simple et si peu susceptible de variétés et de perfectionnements, que je n'ai pas à m'y arrêter ici. Il se trouve naturellement restreint aux matières de vil prix. Employé autrefois pour la houille elle-même, il a à cet égard entièrement disparu, et l'on s'est mis partout en mesure, autant que possible, de reprendre par des méthodes de remblai les massifs abandonnés par les anciens.

2° *Éboulement du toit.* — Le foudroyage a été appliqué à une certaine époque pour la masse même du combustible, et par là on est arrivé à compromettre les plus beaux gîtes. Nul ne songerait aujourd'hui à renouveler de pareils errements, sauf des cas absolument exceptionnels, et dans lesquels des conditions toutes spéciales se trouveraient strictement remplies. L'éboulement *du toit* constitue au contraire un principe très-rationnel. A la vérité il n'est que juste de dire qu'il a incessamment perdu du terrain devant l'emploi du remblai. Mais il n'en a pas moins sa raison d'être pour des conditions déterminées, quoique encore très-larges, dans lesquelles il constitue certainement la meilleure solution. On ne saurait donc en aucune façon s'attendre à le voir disparaître.

Ajoutons en même temps que les méthodes d'éboulement deviendraient trop dangereuses et tout à fait impraticables sans une nature spéciale du toit et au delà de certaines puissances du gîte. Sur la limite même du possible, on en a vu des exemples d'une grande hardiesse en Silésie, à Lucy (Saône-et-Loire), dans le Ten Yards Coal, les glanages de Rancié, etc.

Dans le principe, on laissait le plus de temps possible aux éboulis susceptibles de faire prise, afin de reconstituer un toit homogène. Mais on a depuis reconnu l'avantage de rentrer au contraire le plus vite possible sous les éboulements, pour être mieux maître de régler leur coulée et pour les rafraîchir en vue d'éviter l'incendie et de ne pas se retrouver avec le feu sur la tête.

On a dans certains cas observé ce résultat paradoxal, que l'emploi du remblai désorganise plus la surface que les méthodes d'éboulement. Cette circonstance s'explique en ce que le tassement

du terrain sur une grande étendue de remblai le laisse pour ainsi dire descendre tout d'une pièce quelle que soit la hauteur, et sillonne dès lors le terrain de cassures successives, au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation ; tandis que la tombée du toit dans le vide du déhouillement, s'accompagne d'un foisonnement considérable qui n'a besoin pour remplir les travaux que d'une propagation limitée en hauteur.

Ce raisonnement suppose naturellement une extraction limitée à la puissance du gîte, et ne s'applique pas au cas exceptionnel des chambres de remblai, sortes de carrières souterraines parfois employées dans les méthodes de remblayage (la Béraudière, Beaubrun, Agordo, etc.), et dans lesquelles l'exploitation est pour ainsi dire indéfinie tant qu'elles continuent à cracher sans se coincer d'une manière trop dangereuse pour qu'on puisse les remettre en mouvement. En insistant trop sur certaines chambres, on est parfois arrivé à les faire percer au jour malgré de très-grandes épaisseurs.

L'avantage du principe de l'éboulement sur ceux de l'abandon de piliers ou du remblai est évidemment de ne pas perdre de massifs et d'éviter les frais de remblayage. Mais, par contre, il présente de nombreux inconvénients. En première ligne, le danger, surtout si l'on excède certaines limites ; le gaspillage du gîte, car il est presque impossible de procéder dans ces conditions à un enlèvement complet de la matière utile. De plus, lorsque cette dernière est un charbon susceptible de s'échauffer, on prépare par cet abandon l'incendie et ses conséquences. Le principe du foudroyage du toit est difficilement conciliable avec la présence du grisou, en raison des vides énormes sur lesquels pourront s'exercer les variations atmosphériques, et que l'on combat ordinairement, au contraire, en apportant le plus grand soin dans le remblayage. On ne peut entretenir sans de grands frais des voies de communication dans les éboulements. On l'évite d'ailleurs le plus possible en battant systématiquement en retraite des limites du quartier vers le puits ou le plan incliné. Mais cette circonstance même entraîne un autre inconvénient, en obligeant à se porter de suite à ce périmètre au moyen du traçage, de telle sorte que les premières parties tracées sont dépilées les dernières. Elles arrivent par là à une grande fatigue qui rend leur déhouillement plus précaire et augmente la proportion du menu.

Méthodes d'éboulement. — Le foudroyage du toit étant une fois accepté en principe peut être appliqué effectivement de plusieurs

manières très-différentes. Si l'on considère en premier lieu les couches minces ou bien l'enlèvement d'une des tranches des gîtes puissants, on rencontre les méthodes d'exploitation dites *par massifs courts* ou *par massifs longs*, suivant que le traçage est resserré ou conduit à larges mailles. Le traçage par massifs courts, ou *pannel work*, se rencontre, par exemple, dans les houillères de Newcastle ou du Lancashire, avec des piliers de 40 mètres, et encore plus resserré dans des mines de fer très-solides, telles que celles de Mazenay. On le trouve aussi dans certaines parties des houillères de Bességes et de Rochesadoule, avec cette particularité que le traçage s'y fait en demi-pente, circonstance que l'on observe aussi dans les remorces de la Mure.

Le mode des massifs longs se pratique ordinairement en ménageant les piliers en direction. Cependant, on le peut aussi en montant comme dans le système appelé *long work* en Angleterre. C'est une sorte de méthode par longues tailles montantes avec tombée du toit, après qu'on a ménagé les chemins d'air et de roulage pour se relier aux voies de fond. On y voit parfois des fronts de taille de 400 à 450 mètres (1). Dans le bassin de Sarrebruck on rencontre également les deux modes.

La méthode des massifs longs en direction présente elle-même deux variantes, selon qu'on dépile en chassant ou suivant l'inclinaison. Le premier mode se rencontre, par exemple, à Roche-la-Molière, Bruay, Ahun, Zwickau (Saxe), Bochum (Westphalie), Szekul (Banat), en Angleterre, etc. Quant au dépilage montant, il peut de son côté se faire de deux manières différentes. Dans la première, on prend les enlevures successives toujours dans le même sens. C'est ce qui se voit à la Machine (Decize), Ronchamp, Graissessac, la Grand'Combe (couche mince du Gouffre); et sur de grandes puissances à Roche-la-Molière, à Kœnigsgrube (Silésie), en Saxe, et surtout autrefois à Lucy (Saône-et-Loire). Dans l'autre mode, on dépile en montant pour une partie de la viaille, et l'on reprend le reste en descendant avec éboulement sur toute la largeur, comme à Lens, à Beaubrun, à Kladno, etc. Les grandes chambres du Staffordshire et de Pennsylvanie (2) se rapportent également à ce type.

Quand le gîte devient décidément trop puissant, on divise l'épaisseur en *tranches*, ce qui donne lieu à deux méthodes bien

(1) Alfred Évrard, *Traité pratique d'exploitation des mines*, t. I, p. 344.
(2) Sauvage, *Annales des mines*, 7e série, tome VII, page 222.
Henry, *Bull. de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VII, p. 600.

distinctes, suivant que ces tranches sont *horizontales* ou *inclinées*. Les premières se voient au Stahlberg, dans les schistes alumineux du pays de Liége, les calamines de haute Silésie, etc. Les tranches inclinées ont été employées à Blanzy, à Rochebelle, à Zwickau en deux tranches de 5 mètres, à Dombrowa (Pologne) (1) en deux tranches de 6 mètres, etc.

Quant à la limite qui sépare, pour le choix de la méthode, les couches minces des gîtes puissants, rien n'est plus élastique. La dimension qui se prête le mieux aux méthodes en une seule tranche est de 2 à 3 mètres. Mais on les applique encore, quand le toit s'y prête, à des épaisseurs de 5 mètres, comme en Saxe et en Silésie ; dans le Staffordshire, on est arrivé à 9 mètres, et dans certaines parties de Lucy, au chiffre exorbitant de 12 mètres, avec des difficultés spéciales tenant à la barre blanche.

3° *Remblai.* — Le grand mouvement qui a marqué le milieu de ce siècle, pour la substitution aux anciens procédés de ceux qui sont fondés sur le remblayage complet, n'a cessé de se développer pendant la période qui s'achève en ce moment. Les avantages de ce principe sont en effet évidents, et il convient de dire qu'une exécution de plus en plus soignée du remblayage, en augmentant peu les dépenses, les utilisera mieux encore pour donner à ces méthodes toute leur valeur.

Le principal avantage est de permettre théoriquement d'enlever la totalité du gîte, tandis que l'éboulement et l'abandon de massifs déterminent une perte toujours sensible et parfois énorme. L'hésitation n'est pas permise quand les minerais prennent quelque valeur ou lorsqu'ils fournissent du stérile à pied d'œuvre. En outre, le remblayage ménage mieux que l'éboulement la surface quand elle est proche, et diminue par là les contestations et indemnités, ainsi que l'introduction des eaux superficielles. Il présente plus de sécurité pour les hommes dans les chantiers. Enfin il permet de réduire autant que possible, dans les gîtes grisouteux, les vides soumis à l'influence des variations barométriques. Par contre, bien entendu, il entraîne un chapitre spécial de dépenses dans le prix de revient (2).

---

(1) Jakowski, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2° série, tome V, page 353.

(2) On consultera avec intérêt, comme exemples de prix, l'excellent mémoire de M. l'ingénieur des mines Amiot sur l'exploitation des couches puissantes (*Annales des mines*, 7° série, tome IV, page 165); la communication de M. Fayol, ingénieur en chef de Commentry (*Compte rendu mensuel*, juin 1878, page 121), etc.

On participe plus ou moins à ces avantages et à ces inconvénients avec le *remblai partiel* employé, par exemple, dans certains quartiers de Sarre-et-Moselle, de Beaubrun, Marles, Ronchamp, Montebras, Mariemont, les carrières exploitées à l'aide de piliers à bras, un assez grand nombre d'exploitations anglaises, etc.

On s'est beaucoup occupé dans ces dernières années des mouvements généraux du terrain au-dessus des remblais. Cette question intéresse en effet la conservation du sol agricole et même celle de certaines villes, telles que Liége, Saint-Étienne, etc., déjà minées ou serrées de près par les houillères. Elle touche aussi à des côtés essentiels de l'exploitation; car ces mouvements, en disloquant le gîte et le toit, rendent le déhouillement des parties supérieures dangereux et incomplet, préparent l'incendie et introduisent les eaux de la surface. Malheureusement le problème est des plus obscurs, et les solutions sont encore controversées. Il est facile de le concevoir en raison du grand nombre d'éléments dont dépend la résultante, ainsi que de la difficulté et du petit nombre des observations. Ce n'est du reste qu'un motif de plus de le signaler à l'attention des ingénieurs, pour que le temps arrive à élucider la question. M. Von Decken pour le bassin de la Rhur (1), et M. Schultz (2), se sont spécialement occupés de cette recherche. M. Gustave Dumont a publié en 1871 un mémoire très-considérable sur ce sujet (3), et il y a été répondu en 1875 par un travail analogue de l'*Union des charbonnages belges* (4).

M. Dumont assimile un banc horizontal du toit à une poutre encastrée à ses deux extrémités et chargée uniformément. Pour lui, la rupture doit avoir lieu normalement et au droit des points d'appui sur les parties vierges. Il admet que cette loi subsiste lors même que la couche s'incline jusque vers 68 degrés. Si elle se contourne, les cassures cessent d'être parallèles, pour rester normales à la surface. Mais les tendances à la rupture diminuent d'intensité quand l'inclinaison augmente, attendu que la pesanteur n'agit plus pour rompre ce banc que par une de ses composantes. Il est clair également que si des failles existent d'avance dans le terrain, le plan de moindre résistance ne sera plus normal à la stratification et pourra s'étendre dans la faille au moment où il la

(1) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXVIII, pages 197 et 260.

(2) *Ibidem*, tome XXIII-XXIV, page 455.

(3) *Des affaissements du sol produits par l'exploitation houillère*, mémoire adressé à l'administration communale de Liége. In-4°. Liége, 1871.

(4) *Compte rendu mensuel*, février 1876, page 7.

rencontre. Si une partie supérieure est en discordance de stratification, la loi de la normale subsiste, selon l'auteur, et la cassure se dévie du même angle.

Ces énoncés, quoique rationnels, paraissent trop absolus pour se trouver entièrement vérifiés dans la pratique. Le mémoire de l'*Union des charbonnages belges* fait remarquer notamment que, pour les couches très-inclinées, la tendance à la rupture par écrasement venant se mêler à celle de la cassure par flexion transversale, devra produire des angles plus ou moins variables, sans qu'il soit facile d'en préjuger la loi *à priori*. Quelques ingénieurs français ont publié des observations dans ce sens (1). A la Béraudière, on a reconnu des inclinaisons de 45, 48, 54 degrés sur la stratification, et à Rive-de-Gier des angles de 53, 55 degrés. La cassure, en arrivant à la surface, s'accompagne parfois d'un bâillement de la fente qui peut atteindre $2^m,50$. Par une circonstance bizarre, c'est souvent la lèvre située du côté de l'exploitation qui paraît soulevée par l'effet du basculement.

Méthodes de remblai en une tranche. — Quant au mode d'application du principe général du remblai, on a été conduit, pour se plier avec avantage à toutes les circonstances, à y introduire une très-grande variété. Il faut établir principalement deux grandes divisions, selon que les gîtes sont minces ou puissants, c'est-à-dire suivant qu'ils peuvent se prendre en une seule fois ou qu'ils exigent une subdivision en tranches.

Parmi les méthodes en une seule tranche, nous rencontrons d'abord celles des *grandes tailles chassantes* et des *grandes tailles montantes*, qui sont absolument classiques, surtout dans le Nord et le Pas-de-Calais. En Angleterre, on les conduit souvent, sous le nom de *long wall*, sur de très-grandes largeurs qui dépassent 100 et 150 mètres. D'autres fois on les fractionne en *stalls* de largeur beaucoup moindre, 10 à 20 mètres par exemple, que l'on conduit en laissant entre deux un pilier égal qui est pris en revenant. Ces méthodes si connues ont pour elles une longue pratique qui permet peu de changements.

Je signalerai cependant celui qui vient d'être introduit par M. Godin dans les maintenages de l'Espérance (Seraing) (2). Le front de taille est, comme à l'ordinaire, profilé en petits gradins

(1) *Compte rendu mensuel*, avril 1875, page 6; septembre 1875, page 1; octobre 1875, page 5.

(2) *Annales des travaux publics de Belgique*, tome XXXIII, page 379.

renversés. Mais les piqueurs, au lieu de monter sur le remblai façonné en gradins droits, se trouvent sur un plancher incliné sous un angle tellement choisi que le charbon s'y tienne en équilibre pour ne pas gêner par sa coulée spontanée, mais glisse cependant avec facilité sous la moindre impulsion. Il reste ainsi beaucoup plus propre que quand il tombe sur le remblai. Celui-ci est mis en place en arrière de l'avancement, en suivant à la distance voulue le déplacement successif du plancher parallèlement à lui-même. On obtient de cette manière l'indépendance des deux services du charbon et du remblai. Ces avantages sont très-rationnels, et il ne s'agit que de savoir jusqu'à quel point ils seront compensés par l'embarras de ce boisage et surtout son prix coûtant. Sous ce rapport, l'auteur annonce dans son travail un résultat assez favorable pour que cette proposition mérite d'attirer l'attention.

Un second groupe de méthodes en une tranche nous présente les *petites tailles montantes*, les *petites tailles chassantes* et les *petites tailles en demi-pente*. Dans la méthode par petites tailles montantes on divise l'étage en massifs longs ou sous-étages dont chacun est pris par enlevures contiguës disposées suivant l'inclinaison, mais remblayées à partir du pied, et non plus foudroyées comme dans la méthode correspondante par éboulement. On peut à cet égard procéder de deux manières : soit en s'éloignant des plans inclinés après leur avoir laissé un massif de protection ; on effectue ainsi d'emblée le dépilage sans le faire précéder d'un traçage spécial ; soit, ce que l'on fait plus rarement, en battant en retraite à partir des limites du quartier, pour ne pas établir de voies de roulage dans le remblai. Dans les deux cas on laisse les sous-étages d'aval-pendage en retard sur ceux de l'amont-pendage, d'une quantité ordinairement égale à deux largeurs de chantier. Cette méthode se rencontre par exemple à la Grand' Combe, à Aubin, au Treuil, à Mariemont, etc.

La méthode des petites tailles chassantes est peu employée. La plupart du temps, comme elle suppose un grand redressement, c'est dans des filons tels que ceux de Pontgibaud, de Pontpean, d'Idria (parties étroites), etc., ou encore dans un petit nombre de charbonnages tels que les dressants de Bességes et quelques couches minces de Carmaux. Après avoir divisé le gîte en étages par des niveaux, on enlève le lopin par des tailles en direction à partir du bas, dont chacune est remblayée après son percement, pour former le sol sur lequel montent les hommes pour pratiquer l'enlevure supérieure.

La méthode des petites tailles en demi-pente se voit à Bességes (1). On la rencontre aussi dans certaines parties de la Mure, avec cette particularité que le même remblai sert, en partie du moins, pour les niveaux successifs, car pour diminuer les frais d'introduction, on le fait glisser de l'amont pendage après qu'il y a terminé son rôle protecteur, en laissant alors ébouler le toit (2). A Bességes on dispose le traçage à 45° sur les voies de roulage en raison de la nécessité qu'il y a à restreindre la pente pour pouvoir effectuer le traînage dans les paniers à patins.

Quant au dispositif à adopter pour constituer le chantier élémentaire de ces trois méthodes de petites tailles, on peut employer quatre modes distincts. On peut d'abord aller à fond sur toute la largeur de la vlaille et remblayer en reculant, comme dans la méthode en travers; ou encore aller à fond sur une portion seulement de la largeur et rétrograder en dépilant le reste et se faisant suivre alors par le remblai sur toute la largeur. C'est ce qui se fait par exemple à la Béraudière. On peut en troisième lieu se faire suivre par le remblai pendant le déhouillement direct conduit sur toute la largeur, en ménageant seulement sur les deux côtés des passages, l'un pour le combustible, l'autre pour le remblai. C'est ce qui se voit aussi dans certaines tailles de la Béraudière. Je citerai enfin l'ouvrage en baïonnette dont le dispositif très-rationnel s'est déjà introduit à Champclauson (Grand' Combe), à la Buehne (Aubin), Nickel (Mariemont), Bességes, etc. Le front de taille, très-court en direction, se déplace en montant parallèlement à lui-même, suivi par le remblai, sauf un couloir que l'on ménage contre le massif non encore attaqué, pour la descente du charbon. Le remblai vient du niveau supérieur par le tronçon restant du couloir qui avait été ménagé de même en exploitant l'enlevure précédente, et qui va sans cesse en se raccourcissant par la montée du remblayage.

Je comprendrai dans un troisième et dernier groupe de méthodes par remblai d'une seule tranche celles des *gradins droits* et des *gradins renversés*, spéciales aux gîtes très-redressés. Elles sont absolument classiques. La première reste limitée à un très-petit nombre de filons, tels que ceux d'Andreasberg, certains points

(1) Marsaut, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, tome V, et 2e série, tome V.

(2) Je citerai encore la deuxième brûlante de la Béraudière comme présentant un autre exemple de l'emploi presque indéfini des remblais supérieurs pour remplir l'aval-pendage.

très-restreints de la Baume (Villefranche d'Aveyron) et Almaden (1). Ce sont toujours des gîtes de matières précieuses, car ces ouvrages sont très-coûteux. Ils sont en outre peu solides en raison de la multiplicité de leurs boisages.

La méthode des gradins renversés est au contraire extrêmement répandue dans les filons. Je citerai, pour me borner à la France : Vialas, la Baume, Pierrefitte, Keymar, Sainbel, Romanèche, etc. On la rencontre aussi dans certains charbonnages : Sablé, la Basse-Loire, la Béraudière (couche des Littes), les maintenages du Nord, etc.

On a modifié récemment à Przibram son application d'une manière assez intéressante. Il s'agit précisément de concilier, pour ces minerais qui ont une grande valeur, l'avantage de tout enlever sans rien laisser perdre dans les remblais, qui appartient à la méthode des gradins droits, avec la suppression des nombreux boisages qu'elle nécessite. On divise à cet effet l'étage en sous-étages par des galeries en direction. Le sous-étage est pris en gradins renversés à la manière ordinaire, en laissant du remblai façonné en gradins droits sur lequel sont montés les hommes. Mais en arrière de ce grand escalier qui constitue le chantier, on enlève au fur et à mesure de l'avancement tout ce massif de remblai en lui laissant sur cette face postérieure son talus naturel et le chargeant dans les véhicules de la voie de fond. Puis enfin pour ne pas laisser vide définitivement le sous-étage quand il est terminé, on le remblaye d'un seul coup par la partie supérieure, à l'aide de matières stériles introduites du dehors et que l'on met en place par leur propre poids suivant leur talus naturel, comme dans la méthode de rabattage en direction.

Méthodes de remblai par tranches. — *Méthode inclinée.* — Venons en second lieu aux gîtes puissants que l'on est obligé de diviser en tranches successives, pour prendre chacune d'elles d'après ceux des modes précédents qui s'y prêteront le mieux suivant les circonstances. On peut distinguer à cet égard quatre dispositions différentes : la *méthode inclinée*, la *méthode horizontale*, la *méthode verticale* et la *méthode par rabatage*. J'insisterai sur la discussion de ces dispositifs avec plus de détails que pour les précédents,

(1) Au moins comme un des éléments constitutifs de la belle méthode suivie dans cette mine. Don Jose de Monasterio (*Revue universelle des mines et des usines*); Henry (*Annales des mines*, 7e série, tome I, page 444, Bulletin); Küss (*Annales des mines*, 1re livraison de 1878).

car la période qui vient de s'écouler a été signalée sur un grand nombre de points par une étude très-attentive des propriétés de ces méthodes successivement reprises ou abandonnées.

La méthode inclinée partage le gîte par des plans parallèles à la stratification. Elle ne pourrait donc s'appliquer à des couches indéfiniment puissantes à cause des tassements successifs qui arriveraient ainsi à disloquer complétement la partie voisine du toit. On a réalisé cependant des chiffres extraordinaires sous ce rapport, par exemple à Montrambert où une partie de la grande couche de la Béraudière a été subdivisée en plus de vingt tranches. Mais un tel excès n'avait aucune chance de se maintenir dans l'une des exploitations qui ont le plus contribué à perfectionner l'art des mines sous le rapport de l'institution et de la judicieuse discussion des méthodes. Les limites que l'on s'impose maintenant sous ce rapport sont 15 mètres de traversée horizontale et 45 à 50° d'inclinaison (1).

Presque toujours on prend les tranches de bas en haut, ce qui en fatiguant le charbon facilite l'abatage (2) circonstance qui a sa valeur là surtout où l'usage de la poudre est entravé par l'abondance du grisou. Cependant on voit depuis quelque temps se répandre de plus en plus la pratique de l'ordre descendant *en passant sous le remblai*. L'avantage de ce dernier principe consiste en ce que chaque tranche se prend sans disloquer celle qui lui est inférieure, ce qui est pour les gîtes très-friables ou susceptibles de s'échauffer, un point capital auquel il faut quelquefois sacrifier tout le reste. Mais il est bien évident qu'on s'expose en même temps par là à de grands inconvénients pour la tenue des remblais en couronne. Le boisage devient nécessairement plus complet et plus coûteux. Dans les cas les plus difficiles, on dispose sur la sole, avant de remblayer, un garnissage que l'on retrouve sur sa tête dans la tranche inférieure, et qui aide à poser les boisages définitifs. En revanche l'entretien des voies est plus facile sur le sol vierge que sur un remblai remanié. De même les montants des cadres ont le pied bien plus solide que sur le remblai; mais on est très-gêné par les bois de la tranche précédente, qui percent dans le vide des chantiers sous la charge qu'ils supportent. On est alors

(1) Note sur l'exploitation des grandes couches. Devillaine (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, congrès de Saint-Étienne, page 179).

(2) Sauf des exceptions assez paradoxales telles que certaines parties de Commentry, où la seconde tranche, coincée et serrée en quelque sorte par le tassement, se prend plus difficilement que la première.

obligé de les scier. Il faut du moins les placer, le gros bout en haut, pour s'opposer autant que possible à ce qu'ils cèdent à la pression. Du reste la charge donne alors plus régulièrement, et seulement en raison de ce qui surmonte en projection le vide des travaux. On a moins à redouter les coups de charge inopinés provenant de portées d'une étendue variable avec le degré de raideur que présente une formation encore inaltérée. Il est bien clair d'ailleurs que cette opération du passage sous le remblai ne peut être tentée que quand on dispose de matières susceptibles de faire une prise suffisante.

La méthode inclinée présente une particularité qui lui est spéciale et qui a de l'importance quand on conduit simultanément plusieurs tranches dont les avancements se suivent de près : c'est qu'on peut passer horizontalement d'une tranche dans une autre par de simples inflexions des voies d'allongement ; tandis que ce passage, dans les méthodes horizontales, suppose nécessairement des pentes courtes et raides pour le roulage, qui obligent de les armer du matériel des plans inclinés. On peut ajouter que l'emploi des tranches inclinées facilite l'abatage dans une certaine mesure en permettant au piqueur de mieux profiter de la stratification et des plans de clivage.

Cette méthode, très-répandue, se voit par exemple à la Grand' Combe, Lucy, Épinac, Firminy, la Béraudière (troisième brûlante), Carmaux, Commentry, la Péronnière, Saint-Geniès (Graissessac-Ouest), etc. Il convient de faire une mention à part de Montmartre (Beaubrun), où elle est appliquée dans des conditions particulières qui en font vraiment une variante spéciale (1).

Méthode horizontale.— La méthode horizontale, qui gagne tous les jours du terrain, présente en effet de grands avantages. Elle peut s'appliquer partout, quelles que soient la puissance, l'inclinaison et la solidité du gîte, puisqu'elle ne dépend que d'une manière très-secondaire de ces éléments qui affectent au contraire si directement la méthode inclinée. Les chevaux peuvent, si les sections des galeries s'y prêtent, aller partout dans la tranche, dont toutes les parties sont de niveau. Le remblai tient mieux, puisque sa base est horizontale. On peut toujours le relever d'un seul jet de pelle, tandis que dans les tranches inclinées plusieurs jets sont souvent nécessaires. L'ouvrier se trouve plus à l'aise et

(1) Baretta, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, page 259.

dans de meilleures conditions pour la production du gros (1) et le triage du stérile. La sécurité est plus grande, surtout dans les charbons un peu tendres, et les éboulements partiels présentent moins de gravité que dans la méthode inclinée.

On peut exploiter les tranches horizontales suivant deux modes bien distincts qui constituent la *méthode en travers* et la *méthode en direction*. La méthode en travers est classique pour les filons puissants, comme à Schemnitz, Zellerfeld, Idria, Mokta, Agordo, Bleyberg (Carinthie), Sainbel, Pontpéan, etc. On l'a introduite également dans les houillères et elle continue de s'y répandre. Je citerai comme exemples le Creusot (1841), Montrambert (1846), Commentry (1849), Saint-Éloy, Rochebelle, Bourran (Decazeville), Fraysse (Cransac), Campagnac, Sainte-Barbe (Rive-de-Gier) et beaucoup d'exploitations de la Loire.

Dans les couches de combustible d'une longue traversée, au lieu de se borner à une maîtresse-galerie placée au mur, on en met une seconde au toit et parfois même une ou deux en plein massif. Il faut également citer comme fixant de plus en plus l'attention, bien que gardant un caractère exceptionnel, l'établissement de galeries de direction au rocher, pour éviter de se trouver coupé par l'incendie, diminuer le danger des poussières charbonneuses produites par le piétinement des chevaux, et supprimer les piliers de protection qui, en durant autant que la galerie, arrivent à se fatiguer énormément et à donner fort peu de gros par leur dépilage, devenu en même temps plus dangereux. De tels ouvrages sont évidemment coûteux, mais l'introduction de la perforation mécanique les place dans des conditions de réalisation bien meilleures qu'autrefois. On peut citer comme exemples, sous ce rapport, le Creusot, Brassac, la Tardiverie (Saint-Étienne), et la plupart des mines du Montceau, où l'on a créé un développement de près de 12 kilomètres de galeries dans la roche.

La méthode horizontale en direction se trouve naturellement indiquée quand il est possible de passer entre des nerfs d'une épaisseur suffisante, au lieu de les enlever par le percement des traverses. Mais elle s'applique également très-souvent en l'absence de cette circonstance. On doit citer sous ce rapport les magnifiques chantiers de Commentry, dans lesquels on revient des limites du quartier par une grande taille occupant toute la traversée de la couche et conduite suivant la direction. Le même travail a été

(1) Cette augmentation a été d'environ un tiers en plus au Crêt-de-Mars (Montrambert).

parfois appliqué dans les parties les plus puissantes du gîte de pyrite de Sainbel.

Dans une seconde variante plus répandue, on fractionne la largeur du gîte et on y pratique un système de petites recoupes contiguës en direction menées d'une traverse à une autre située à une certaine distance. C'est ce qui se pratique au Montceau-les-Mines (Saint-François, Sainte-Eugénie, Lucy), au Creusot, dans les parties tendres de la Béraudière, à Brassac, Aubin (le Montet), la Prugne (Allier), etc.

Méthode verticale. — La méthode verticale doit être spécialement réservée aux gîtes les plus inflammables. On y divise l'étage en lopins par des plans verticaux, conduits suivant des lignes de plus grande pente et assez rapprochés pour que, dans un temps relativement court, on puisse, sans déterminer de mouvements importants dans les lopins adjacents, monter de la base de l'étage jusqu'au faîte avant le développement de l'incendie. Cette difficulté est en effet parfois tout à fait capitale. Dans cette méthode, le remblai est mieux tassé que partout ailleurs, car les ouvriers le piétinent pendant toute la durée de l'ouvrage. En revanche, le charbon est très-brisé par la descente dans les cheminées verticales jusqu'à la voie de fond. La production est limitée et ne peut se développer que par l'installation d'un assez grand nombre de chantiers, car chacun d'eux est nécessairement très-rétréci.

Des méthodes de ce genre ont existé autrefois à Bourran (Decazeville) et aux dressants de Fournier (la Grand' Combe). Elle a été introduite par M. Rouquairol à Firmy (Aveyron), et perfectionnée avec beaucoup de soin par M. Colrat, dont on pourra consulter l'intéressante description (1). Certaines parties de Sainbel sont également prises en montant rapidement de tranche en tranche sur une projection horizontale très-restreinte.

Méthode du rabatage. — Il me reste à parler de la méthode du rabatage. On sait que cet ouvrage, qui suppose une couche notablement inclinée, consiste en principe en un système de deux galeries projetées horizontalement sur un même alignement, mais placées à des niveaux différents et reliées par un front de taille incliné et en surplomb. La galerie inférieure va sans cesse en se raccourcissant par le déplacement de l'avancement et du talus de remblai qui le suit. Elle sert au sortage du charbon. La galerie

(1) *Compte rendu mensuel*, août 1877.

supérieure qui amène le remblai va sans cesse en s'allongeant par la progression du chantier.

La distance verticale qui sépare ces deux galeries pouvant être plus notable que dans tous les autres modes de subdivision en tranches, on diminue ainsi le nombre des voies de roulage, ce qui est un des avantages de cette méthode. Cette hauteur cependant diminue avec la solidité du gîte. D'ailleurs, un charbon d'une certaine consistance peut seul être traité dans ce système, puisqu'il doit se tenir en surplomb. De plus, le chantier doit nécessairement rester étroit pour ce même motif, circonstance peu favorable au rendement des piqueurs. La proportion de gros a été comparée à Montrambert avec celle que fournit la méthode horizontale et s'est trouvée plus favorable avec le rabatage (1). Mais le combustible se salit beaucoup en roulant sur une grande hauteur le long des talus de remblai. Cet inconvénient est surtout sensible quand des mises schisteuses se trouvent intercalées dans le charbon, car cette descente en commun contribue à mêler plus intimement les deux matières. Un bon remblai est indispensable dans cette méthode, sans quoi les bois employés, quand il est nécessaire, pour soutenir le front de taille, s'enfoncent sans résistance. Des terres humides ou gelées au dehors pour se dégeler après leur mise en place rendent ce travail impraticable. Ces inconvénients sont d'autant plus sensibles que dans aucune autre méthode on ne pose d'un seul coup le remblai sur une plus grande hauteur. En revanche, sa mise en place se fait par la seule gravité pour la presque totalité des matières, ce qui est une condition très-avantageuse. Il y a en outre indépendance entre les deux services, qui se font à des niveaux différents pour un même sous-étage.

En raison de ces divers inconvénients, cette méthode élégante et très-ingénieusement combinée a disparu de certaines mines où elle avait été appliquée. On l'a abandonnée à Montrambert (puits Marseille), où elle avait pris naissance (2), en raison d'un changement dans la dureté du charbon. Il en a été de même à Blanzy à la suite d'une discussion attentive, faite par M. Petitjean, des prix de revient comparatifs de cette méthode et de celle des tranches horizontales. Cette dernière, en raison de la moindre hauteur de ses chantiers, oblige à revenir plus souvent dans les mêmes parages

(1) 0,356 au lieu de 0,286 (Devillaine, *Notice sur les houillères de Montrambert et la Béraudière*, page 37. Saint-Étienne, 1878).

(2) Devillaine, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, tome IV, page 240.

et les rafraîchit périodiquement par la pose de nouveaux remblais, circonstance importante pour les gîtes susceptibles de s'échauffer et de s'enflammer.

Le rabatage subsiste encore cependant dans un certain nombre de localités. Il peut du reste, comme la méthode horizontale, être appliqué de deux manières distinctes, en travers ou en direction. On rencontre le *rabatage en travers* à Bezenet, où il a été fort bien combiné dans les détails par M. Baure. Le *rabatage en long* se voit à Lalle en une seule tranche et sur de grandes hauteurs; à Brassac, en tranches superposées et en passant entre les nerfs; à Cransac (la Balance), en tranches horizontales successives prises chacune par une série de recoupes costeresses accolées et branchées sur des traverses ménagées de distance en distance, avec rabatage de chaque tranche à celle qui lui est inférieure. Ces travaux sont exécutés avec un grand ordre et constituent une très belle méthode (1).

Dans la mine de blende d'Ameberg (Suède), on vient de modifier le rabatage en long, de manière à pouvoir tout sortir, au moyen d'une variante analogue à celle que j'ai décrite pour la méthode à gradins renversés de Przibram. Sur le massif rectangulaire de remblai stérile qui est compris entre la voie de fond et deux remontées consécutives, on conduit un rabatage en direction qui recouvre ce massif d'une bande de minerai sur lequel sont montés les piqueurs à l'avancement pour abattre le front de taille en surplomb. Quand ce front s'est déplacé parallèlement à lui-même d'un montage à l'autre, on arrête le chantier, on vide cette couche de minerai par les deux fendues, on la remplace par une bande de remblai stérile descendu du dehors et qui exhausse d'autant le massif rectangulaire; puis on y monte pour pratiquer un nouveau rabatage sur une hauteur égale à la précédente.

4° *Travaux à ciel ouvert.* — L'introduction des nouveaux explosifs a contribué à donner plus d'ampleur encore à l'abatage dans certains grands découverts. A l'Erzberg de Styrie (Eisenerz), on abattait pendant quelques années le fer carbonaté en grandes masses au moyen de six trous de sonde disposés de 4 mètres en 4 mètres sur 12 mètres de profondeur et $0^m,25$ de diamètre. On y chargeait 30 kilogrammes de dynamite avec une bourre d'argile et l'inflammation par l'électricité. Il paraît cependant qu'on revient

(1) Bidache, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 351.

à la poudre ordinaire, considérant la dynamite comme trop brisante pour ce cas particulier.

Dans les magnifiques travaux à ciel ouvert de la Vaysse (Aveyron), on a pratiqué parfois des galeries de 6 mètres de profondeur au pied de la falaise, en les reliant par des traverses parallèles au front, de manière à découper la roche en piliers de $1^m,50$. On y ménageait des fourneaux de mine enflammés par l'électricité au moyen d'une vingtaine environ (1).

Un travail de ce genre, exécuté dans les carrières à remblai de Petites-Rosselles, près de Styring, sur 6 mètres de profondeur de galerie, 15 mètres de front et une falaise de 12 mètres de hauteur, a coûté la vie à M. l'ingénieur Boulanger et à un maître mineur, le 1er août 1878. Ils s'étaient rapprochés, après le départ des coups de mine, pour juger du motif du retard apporté à l'éboulement, lorsque celui-ci se produisit et les ensevelit sous ses débris.

Méthode hydraulique de Californie. — M. l'ingénieur des mines Sauvage a publié une étude très-intéressante sur l'exploitation par l'eau des placers de Californie (2). Cette méthode, qui a pris naissance en 1852, a reçu dans ces derniers temps un très-grand développement, et fait disparaître des collines entières. Les alluvions aurifères atteignent parfois jusqu'à 80 mètres d'épaisseur.

On commence par barrer une vallée pour obtenir une retenue d'eau. Des canaux de 2 à 3 mètres de large la conduisent par une ligne de faible pente tracée sur le contre-fort des coteaux, et parfois en traversant des vallées à l'aide d'aqueducs ou de siphons. Le siphon de Cherokee, par exemple, présente 4.300 mètres de longueur, $0^m,76$ de diamètre, 299 et 253 mètres pour les altitudes de ses extrémités au-dessus de son point le plus bas. Il débite 63 mèt. cubes par minute.

L'eau arrive dans un distributeur carré d'où partent des tuyaux en tôle. Ils se terminent par des ajutages assemblés à l'aide de joints en cuir, ou mieux en métal. On dirige alors un jet sous pression vers le point où l'on veut déterminer une perforation. Le liquide sort du trou en bouillonnant et entraînant les matières. Un éboulement se produit bientôt. S'il le faut, on attaque par plusieurs jets convergents les points les plus résistants. En cas de nécessité,

---

(1) On peut consulter sur l'état actuel de cette exploitation le Mémoire de M. Nesteroswsky sur les incendies (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 843).

(2) *Annales des mines*, 7e série, tome IX, page 1.

on s'aide de quelques fourneaux de mine enflammés par l'électricité. Telle est la marche employée pour les parties supérieures.

Pour enlever le fond du bassin, qui est précisément le plus riche, il faut naturellement modifier un peu l'attaque. On pratique un tunnel à partir du point le plus bas des vallées avoisinantes. Celui de North-Bloomfield, par exemple, a 2.300 mètres de longueur. On rejoint cette galerie par un puits boisé foncé dans le placer. On commence ensuite à déboiser la travée supérieure, et avec les lances d'eau on coupe le terrain dont on détermine l'écoulement dans le puits et le tunnel. Quand la hauteur dépasse 40 mètres on opère en deux gradins.

Au sortir de la galerie les eaux sont reçues dans des cheneaux en bois avec des ressauts remplis de mercure pour faire barboter les matières et dissoudre l'or qui s'y trouve disséminé. Après plusieurs passages sur le mercure, on rejette le stérile et on traite l'amalgame pour en retirer l'or.

Telle est cette méthode remarquable qui utilise l'eau sous une forme nouvelle, celle de la force vive. Ce mode vient s'ajouter à ses anciens emplois déjà assez nombreux : la pression statique dans les aiguilles infernales hydrauliques, l'éclatement des trous de mine par la congélation (1), par l'extinction de la chaux (2), par l'hygroscopicité de tampons de bois (3), la dissolution, pour le percement des puits et des galeries (4), ou pour l'exploitation même par trous de sonde ou par salons (5).

§ V. — Voies de roulage.

Rails Bessemer. — Le rail Bessemer commence à jouer un certain rôle dans le roulage souterrain. En Silésie, en Westphalie, on emploie des aciers Krupp (6). M. Fayol, ingénieur en chef de Commentry (7), et son frère, ingénieur de Carmaux (8), ont signalé à l'attention les résultats obtenus sous ce rapport dans ces deux

(1) Dans les carrières du Nord de la Russie et du Massachussets.

(2) Georges Elliott, *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXIX, page 153.

(3) Carrières de la Ferté-sous-Jouarre.

(4) Hallstadt (Salzkammergut); Varangéville (avant l'accident) (Meurthe-et-Moselle).

(5) Salzkammergut, Bex (Keller, *Annales des mines*, 6e série, t. III, p. 1).

(6) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VII, p. 798.

(7) *Compte rendu mensuel*, février 1877, page 8, et juin 1877, page 15.

(8) *Ibidem*, avril 1877, page 3.

mines. A Commentry, le rail est à double champignon, et à Carmaux il est à patin, avec les dimensions suivantes :

	COMMENTRY.	CARMAUX.
Hauteur du rail.	$0^{m},0650$	$0^{m},065$
Largeur du champignon.	$0\ ,0195$	$0\ ,022$
Épaisseur de l'âme	$0\ ,0062$	$0\ ,008$
Poids du mètre courant	$6^{k}\ ,0000$	$5^{k}\ ,600$

D'après la discussion attentive à laquelle ont donné lieu les voies de Commentry, le nouveau métal se recommande par les avantages suivants. En premier lieu, une durée au moins triple de celle du rail de fer qui correspond aux mêmes conditions. On l'estime, par avance, d'après les résultats du temps déjà écoulé, à trente ans en moyenne pour les galeries de roulage et cinquante ans dans les meilleures conditions, vingt-cinq ans seulement dans les dépilages, qui occasionnent une certaine perte. Mais on espère, après les trente années de séjour de ce rail dans les voies de roulage, lui demander encore quelque service dans les dépilages. Pendant ces trente années, on compte lui faire supporter 9 millions de bennes représentant, par leur poids mort et leur poids utile réunis, 5 millions de tonnes. Quant au prix du mètre de voie, il ressort à 6 francs pour le Bessemer et 5 francs pour le fer. Mais si on amortit en tenant compte de l'inégalité des durées, la dépense annuelle n'est plus que de $0^{f},42$ pour l'acier et $0^{f},55$ pour le fer.

L'usure du métal fondu est plus uniforme que celle du fer, qui a tendance à s'exfolier. Ce rail plus léger se cintre plus facilement pour les courbes. La forme du double champignon donne une assiette meilleure à la jante de la roue, qui se coupe davantage sur un fer plat. La voie est plus propre, car le plan de roulement se trouve élevé de $0^{m},083$ au-dessus des traverses ; le ballast, devenu plus épais, garantit mieux ces dernières contre le pied des chevaux. L'assemblage du rail à la traverse au moyen de coussinets est plus solide que le mode sommaire employé pour le fer plat.

Des traverses métalliques ont été essayées dans les mines. Je citerai notamment les traverses en Ω de MM. Legrand et Solkin de Mons, qui se construisent en France dans les ateliers de Quillacq. Leur prix est à la vérité triple de celui du bois ; mais elles pourraient, par leur grande solidité, se recommander par exemple pour le cas particulier des locomotives souterraines.

Plaques de bifurcation. — Au lieu de composer les croisements de

voie, ou les bifurcations, de traverses plus ou moins compliquées, on trouve avantage à faire venir de fonte des plaques renfermant tous les éléments nécessaires. A Graissessac (quatre mines réunies), on a disposé pour les grands plans inclinés de la surface une plaque très ingénieuse qui assure le passage automatique des trains sur les voies respectives qu'ils doivent prendre, au moyen des contre-rails qui guident les mentonnets comme à l'ordinaire, et en outre avec l'aide de petits seuils en pente raide qui n'apportent aucune gêne au wagon descendant, mais ne se laissent pas gravir par celui qui se présente à contre-sens, et trouve au contraire toute facilité dans l'autre direction, vers laquelle il se trouve ainsi dévié tout naturellement.

Plans automoteurs. — Quelques améliorations de détail méritent d'être signalées en ce qui concerne l'établissement des plans inclinés automoteurs. On sait qu'ils se rangent dans deux types essentiels : à simple ou à double effet ; chacun d'eux pouvant être réalisé de trois manières différentes. Le plan à simple effet peut être à deux voies avec wagon contre-poids, ou avec une voie étroite insérée dans la principale avec chariot contre-poids très bas qui passe sous le wagon, ou avec un bure dans lequel descend verticalement un contre-poids. Le bure sera ordinairement moins long que le plan, avec des poulies de rayons proportionnels à ces longueurs et des poids en raison inverse.

Les plans à double effet peuvent être à deux voies et quatre rails ; ou à deux voies et trois rails seulement, avec un évitement au milieu pour lequel le rail moyen se bifurque en deux autres séparés par un entre-voie ; ou encore à voie unique, c'est-à-dire deux rails avec un évitement au milieu, formé d'aiguilles qui fonctionnent d'une manière automatique mais moins rigoureusement sûre que le système à trois rails.

Je mentionnerai également le mode de service installé à Carmaux, dans lequel les deux voies ne communiquent pas entre elles. Les wagons pleins descendent toujours par la même et les wagons vides reviennent par l'autre, les changements de voie se faisant entre les culbuteurs et le pied du plan où l'on forme et où l'on décompose les trains. Quand le câble a servi à descendre un train plein et à monter un train vide, on attelle le bout inférieur au nouveau train vide qui a été formé pendant ce temps et le bout supérieur à un second train plein, puis la manœuvre se fait *avec les câbles croisés*. A l'opération suivante, ils reprennent leur position normale. Pour permettre cette obliquité, à partir de la partie

supérieure, on reporte la poulie de renvoi à une certaine distance de la tête du plan.

A côté de ces différents dispositifs se place celui du chariot-porteur. M. Taza-Villain en construit dont la plate-forme peut jouer à charnière le long d'un arc à trous pour que le matériel puisse s'adapter aux variations du pendage, quand on transporte successivement le plan parallèlement à lui-même, dans les méthodes d'exploitation qui le comportent, pour raccourcir les voies costeresses qui le relient aux fronts de taille et qui s'allongent progressivement.

La circulation sur les plans est toujours interdite aux hommes, mais les ingénieurs et les gouverneurs s'en réservent souvent l'usage. Cette pratique n'est pas sans danger, et l'on y a obvié à Mazenay par l'établissement d'un couloir latéral séparé par une balustrade de l'emplacement des voies.

Le croisement du plan et des galeries d'allongement crée toujours quelque difficulté en dehors du système du chariot-porteur. A la Grand' Combe, on contourne des bouts de galerie entre l'amont et l'aval-pendage du plan et la galerie de niveau. A Ronchamp, on emploie des ponts-levis ou des rails amovibles à charnière qui, à volonté, prolongent la voie d'allongement par dessus le plan ou laissent au contraire la circulation libre sur ce dernier. A Mondalazac, des plaques de manœuvre à charnière peuvent être, *ad libitum*, rendues horizontales ou couchées suivant la pente.

On peut entrer en travers-bancs en un point intermédiaire du plan, au moyen d'un dispositif employé à Firmy. Il consiste en deux volets qui jouent sur des charnières horizontales latérales. Si on les applique verticalement contre les parois, le plan se trouve libre. Si on les rabat, ils en recouvrent la partie inférieure et forment recette et plaque de manœuvre pour descendre les wagons de la travée dans le travers-bancs.

Il est bon que le pied des plans ne se trouve pas dans la voie de fond elle-même, ce qui gêne le service et crée un danger pour la circulation, car il peut arriver qu'un wagonnet soit précipité par une fausse manœuvre ou une rupture de câble. A Pontpean et dans d'autres exploitations, on le place dans une petite chambre de recette que l'on dispose latéralement à la mère-galerie en l'y raccordant par un bout de voie ferrée.

On peut recommander, pour compléter les signaux à la voix qui prêtent parfois à des confusions, l'emploi d'un disque placé à la recette supérieure, et manœuvré d'en bas avec un fil. pour mar-

quer si la voie doit rester fermée ou si l'on peut engager le train. A Mazenay, on a en outre ajouté à cette précaution un double clichage, manœuvré à l'aide d'un levier par le garde-frein. L'un des clichages est disposé à une petite distance sur la pente et d'une manière inverse de celui qui ferme le plan à la recette même. Si donc le receveur engage mal à propos le train en agissant sur son levier, il lui suffit de ne pas se troubler et d'attendre quelques instants pour que les wagons se trouvent arrêtés au second clichage. Il faut au contraire, pour que celui-ci puisse être franchi, renverser le levier dès que le premier clichage est dépassé par le dernier wagonnet, manœuvre du reste facile.

On doit exiger avec la plus grande rigueur qu'une chaîne, ou une barre, soit constamment tendue à la recette supérieure, pour fermer le plan, relevée chaque fois qu'on doit lancer un wagon, et remise en place invariablement. Il est à désirer également que l'on arrive à faire disparaître entièrement les freins qui se serrent par l'action de l'homme. On doit leur substituer ceux qui sont toujours serrés spontanément et que l'on est obligé de desserrer à la main pour laisser couler le train, qui se trouve arrêté par cela seul qu'on aura lâché le levier du frein. Les poulies Fowler sont beaucoup employées pour le service des plans. M. Champigny a proposé également un nouveau modèle, qui a été appliqué à Aubin.

Quant à l'emplacement des plans inclinés, il arrive très-rarement qu'il soit projeté horizontalement suivant la direction de la couche. Cela se rencontre cependant, pour des plans très courts, dans les méthodes de Brassac et de Beaubrun (Montmartre). On les dispose presque toujours suivant une ligne de plus grande pente. Parfois c'est suivant une demi-pente, soit que le pendage paraisse trop raide, soit que les champs d'exploitation, étant limités par des failles parallèles, forment, non des rectangles, mais des parallélogrammes, auquel cas il est préférable de disposer le plan qui leur sert d'artère suivant la médiane de ce parallélogramme.

La plupart du temps, quand on ne reporte pas dans la méthode inclinée le plan dans toutes les tranches successivement, on le met de suite sur le mur. Cela ne gêne en rien, puisque nous avons fait remarquer que dans cette méthode on passe horizontalement d'une tranche dans l'autre par de simples déviations des galeries de niveau. Cependant ce dispositif présente l'inconvénient de fatiguer beaucoup, par cette longue durée, le charbon laissé en couronne et les massifs latéraux de protection. On peut éviter cet inconvénient en installant le plan au toit et l'y laissant pendant l'exploitation des tranches successives, pour ne reprendre qu'au

dernier moment la masse de combustible qui le supporte et est restée inaltérée.

Je n'ai pas à parler ici des plans bisautomoteurs, dont la création, déjà très ancienne, imprime un cachet si remarquable au système de circulation de la Grand' Combe. Je me contenterai de dire que M. Schmued vient d'en établir un semblable, quoique sur une petite échelle, aux mines de Seegraben (1).

Plans aériens. — On a employé, à une époque déjà reculée, le système Palmer, à un seul rail suspendu sur une longrine, dans les galeries dont le sol est susceptible de jouer incessamment. Bien que cet appareil ait été reproduit récemment par M. Berthold Sterckel, de Breslau (2), il ne s'est pas répandu d'une manière sérieuse.

Il n'en est pas de même des plans aériens, analogues en principe, et dont l'application reçoit maintenant un grand développement. Leur invention paraît remonter à une époque fort ancienne, car on avait établi, il y a environ deux siècles, un va-et-vient aérien dans l'île de Gozzo; mais cette création avait été reléguée complétement dans l'oubli (3). On rencontre aujourd'hui de tels chemins aériens aux carrières de ciment de Grenoble, aux mines de Saint-Martin-de-Queyrières (Hautes-Alpes), à celle du Fournel (Hautes-Alpes), aux mines de Sordières et de Gorge-Noire (Savoie), d'Extravernes (Haute-Savoie), et de Coutres (Hautes-Pyrénées), aux mines de Raïbl (Carinthie), à Vignusca (Carniole), aux carrières de granit de Bardon Hill (Leicestershire), à l'usine à gaz de Hanovre, etc. (4). A Allevard, on a établi provisoirement, pour attendre la construction des grands plans inclinés, le magnifique plan aérien de Sainte-Madeleine, pour les mines de Saint-Georges d'Hurtières. On y transporte 1.290 kilogrammes de minerai, plus 410 kilogrammes de poids mort, à la vitesse de 5 mètres par seconde, sur des câbles de 3 centimètres de diamètre, 1.559 mètres de long et 600 mètres de dénivellation, avec 12 points d'appui. On en remarquait un très beau modèle en relief au Champ-de-Mars, dans l'exposition du Creusot. A Pierrefitte (Hautes-Pyrénées), la Société royale asturienne a construit un va-et-vient aérien de 50 kilogrammes, à la vitesse de 10 mètres par seconde, sur une succession de trois tra-

---

(1) *Revue universelle des mines et des usines*, 2e série, tome III, page 219.

(2) *Ibidem*, 2e série, tome III, page 232.

(3) Machinæ novæ Fausti Verantii Siceni (*Magasin pittoresque*, 1850, p. 72).

(4) *Zeitschrift der Ingenieur-Vereins in Hannover* (Rossigneux, *Compte rendu mensuel*, février 1878, page 40).

vées de 200, 500 et 800 mètres de portée. On rencontre également un plan incliné suspendu sur câbles à l'intérieur des travaux de Pierrefitte dans un montage dont le sol, très-dur à rebancher, se trouvait trop accidenté pour l'installation d'un plan ordinaire sur rails. L'administration forestière a aussi recours à ce moyen pour faire franchir aux produits de ses coupes des ravins étroits et profonds. Elle avait notamment exposé au Trocadéro le plan en relief du chemin aérien de Holcarté (Basses-Pyrénées).

Dans le système Balan employé à Pierrefitte, on dispose quatre câbles. Deux câbles porteurs sont tendus d'une manière fixe, quoique avec une flèche très accusée sur d'aussi grandes longueurs. Chacun d'eux sert à la circulation d'un train composé de deux roulettes à gorge assemblées avec un petit châssis. Celui-ci est attelé à l'un des brins d'un câble sans fin plus mince. Ce châssis supporte à l'aide d'un crochet la benne de minerai qu'on y accroche en haut, et qu'on reprend en bas pour la vider et la raccrocher de nouveau. Le câble sans fin passe sur des poulies placées aux extrémités du bas et du haut de la travée. La poulie supérieure porte un frein pour modérer la descente à charge de la benne pleine, qui remonte l'autre benne, soit vide, soit remplie d'objets utiles à l'exploitation et moins lourds que le minerai, lequel est à Pierrefitte de la phillipsite et à Allevard du fer carbonaté.

On a également employé des câbles sans fin portant de distance en distance des bennes, comme une immense chaîne à godets. On voit une installation de ce genre aux mines de fer de Biscaye et dans les houillères de Harewood (Colombie anglaise). Dans cette dernière, l'ensemble a 5.600 mètres de longueur, et le câble porte, tous les 50 mètres, une benne d'une contenance de 100 kilogrammes (1). Ce système avait été indiqué antérieurement par MM. Von Duecker en Prusse, Hodgson en Angleterre, Pirker en Carinthie (2).

§ VI. — Matériel roulant.

Boîtes de graissage. — La question des boîtes inversables dans le culbutage des wagons est restée à l'ordre du jour. Dans beaucoup d'exploitations, comme à Bességes, à la Baume, etc., on emploie une simple calotte sphérique boulonnée sur le châssis, et dans laquelle débouche la tête de la fusée. Un orifice fermé par

(1) Rossigneux, *Compte rendu mensuel*, février 1878, page 42.
(2) *Revue universelle des mines et des usines*, 2e série, tome III, page 230.

une vis sert à introduire, tous les quinze jours, un mélange à moitié solide et liquide qui ne se perd pas par le joint. Ce dispositif est fort simple (1).

Je citerai également le procédé de graissage Évrard (2) employé à Vicoigne, et le système Defontaine, expérimenté avec succès à Liévin il y a quelques années, ainsi que la roue à graissage constant de M. Lambert (3).

M. Fayol, ingénieur de Carmaux, a imaginé une roue qui se construit aux ateliers Fourneyron (Loire). La boîte intérieure a un peu la forme d'une double bouteille (4). Le bout de la fusée étant toujours visible, on reconnaît facilement si la roue est convenablement graissée. On renouvelle l'huile tous les huit ou quinze jours, suivant l'activité du roulage. Cette roue est d'une seule pièce, sans joints et sans boulons. Elle est simple et légère.

M. Grand, également ingénieur de Carmaux, a exposé cette année une boîte qui se construit chez Muller et Roux, à Paris. Sa section présente aussi une certaine analogie avec une double bouteille. Elle se fixe sous le châssis et ne fait pas corps avec la roue comme dans le système précédent. La fusée porte un disque releveur. Les expériences de M. Grand lui ont montré une notable amélioration du coefficient de traction qui se trouve réduit à $\frac{1}{144}$ du poids total, et une économie sur la dépense d'huile qui n'est plus que de $0^{f},012$ par tonne kilométrique, avec de l'huile à 1 franc le kilogramme. Le graissage se faisait tous les quinze jours et consommait $0^{kg},36$ par mois et par wagon. Le nettoyage avait lieu à peu près tous les ans.

Les expériences de M. Grand ont été instituées d'après une méthode très-ingénieuse que je tiens à signaler ici, car elle mérite d'être connue et permettrait d'étudier très simplement le matériel d'une mine quelconque. Elle a été exposée par son auteur dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale* (5).

Locomotives souterraines. — La question des locomotives souterraines a été reprise encore malgré d'anciens échecs (6). A la

(1) Veillon, *Compte rendu mensuel*, juin 1876, page 18; Marsaut, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, tome XIII, page 435.

(2) *Annales des mines*, 6e série, tome II, page 321.

(3) Wéry, *Compte rendu mensuel*, juillet 1879, page 167.

(4) *Compte rendu mensuel*, janvier 1877, page 31.

(5) 2e série, tome VII, page 375.

(6) Locomotives de mines (*Journal des mines*, 1878, page 275. — Emploi des locomotives souterraines, C. Heinrich (*Zeitschrift Vereines für Kärnthen*, tome IX, page 238).

vérité, c'est sans doute moins en France, avec les conditions accidentées de nos gîtes, que dans des pays plus favorisés sous le rapport de la régularité d'allures, qu'on peut espérer un véritable développement de ce moyen de transport.

Ce service est installé dans d'excellentes conditions aux mines de Cessous et Comberedonde, où l'on s'applaudit beaucoup de son emploi. La galerie est, du reste, à très-grande section et constitue un petit tunnel auquel succède un élégant viaduc à son débouché au jour. L'exécution de ces beaux travaux, conduits avec une rapidité exceptionnelle avec l'aide de la perforation mécanique, a beaucoup frappé l'attention dans ces dernières années (1). Il existe aussi une traction par locomotives souterraines sortant au jour dans les mines de fer de Mazenay (Compagnie du Creusot). Les ateliers de Marcinelle et Couillet (Belgique) se sont créé une spécialité pour la construction de ces moteurs depuis 2,5 jusqu'à 7,0 tonnes à vide, avec des voies de $0^m,45$ à $0^m,90$. On arrive même à les faire passer dans des galeries de $1^m,20$ de largeur sur $1^m,70$ de hauteur. Dans les grandes mines de Laxey (île de Man), on emploie de petites locomotives de Lewin pour des voies de $0^m,46$. Les chaudières, essayées à $16^{kg},5$ par centimètre carré, travaillent à 10 kilog. Les cylindres ont $0^m,10$ de diamètre, et $0^m,15$ de course; les roues, $0^m,375$ de diamètre. Elles traînent 12 à 13 tonnes en palier avec une vitesse de 9 à 10 kilomètres à l'heure, et elles peuvent franchir des courbes de $3^m,05$ de rayon. Dans les houillères de Doman (Hongrie), depuis 1876, 2 locomotives traînent 60 wagons pleins, soit 22 tonnes avec une vitesse de 7 kilomètres à l'heure et une économie de 40 p. 100 sur la traction effectuée au moyen des chevaux. Les rails à champignons pèsent 7 kilog. par mètre. Le poids de la machine en charge est de 4,5 tonnes. La surface de chauffe atteint 8,5 mètres carrés par cheval-vapeur et la force est de 10 chevaux. Les cylindres ont $0^m,15$ de diamètre et $0^m,21$ de course, avec une pression de 10 atmosphères. Le maître-couple de la locomotive est réduit à 1,7 mètres carrés, pour ne pas entraver la ventilation. Sauf le passage de la cheminée, elle est entièrement recouverte pour garantir les mécaniciens contre la fumée et la chute des fragments du plafond (2). En Pennsylvanie, le roulage souterrain des anthracites se fait avec des locomotives lorsque la puissance du gîte, et par suite la hauteur des galeries, sont suffisantes

(1) Ledoux, ingénieur des mines : Description raisonnée de quelques chemins de fer à voie étroite (*Annales des mines*, 7e série, tome V, pages 329 et 429).
(2) *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome VI, page 332.

pour assurer un aérage vif (1). Dans le Nevada, la Compagnie Sutro a traité avec les diverses Sociétés propriétaires du filon du Comstock pour recouper celui-ci à 600 mètres de profondeur, à l'aide d'un tunnel à travers-bancs de 3m,65 de hauteur sur 4m,85 de largeur et 6 kilomètres de long (2). C'était en vue de faciliter à la fois les services de l'aérage, qui était auparavant détestable, de l'épuisement, désormais réalisé sans machines, de la préparation mécanique, alimentée au débouché du tunnel par cette concentration des minerais et l'eau qu'il débite, et enfin de la traction, effectuée par des locomotives sur les deux voies du travers-bancs, ainsi que dans les deux branches du tunnel pratiquées en direction dans le filon, sur une longueur à peu près égale au premier tronçon. Le prix de l'ouvrage est évalué à plus de 20 millions de francs. Les Compagnies avaient traité au début pour une redevance de 11f,35 par tonne de minerai parcourant le tunnel.

Le principal obstacle à l'emploi des locomotives souterraines dans les houillères réside dans le danger de l'introduction de leur foyer dans les gîtes grisouteux, et, en outre, dans le dégagement d'oxyde de carbone qui occasionne des maux de tête aux hommes. Il faut en effet remarquer que la nécessité de faire entrer le courant d'air par la galerie des locomotives, pour en éloigner dans tous les cas le grisou, a pour effet d'entraîner dans les travaux la fumée et l'oxyde de carbone. Il semble d'après cela que l'emploi pour les locomotives de l'air comprimé et du moteur à eau chaude (3), déjà introduits dans le service des tramways des grandes villes, soit de nature à diminuer ces difficultés. On connaît à cet égard les locomotives à air comprimé du Saint-Gothard (4). MM. Bouché et Gallez en construisent de petites à Mons. Les ateliers de Passy en

(1) Henry, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 604.

(2) Burthe : *Annales des mines*, 7e série, tome V, page 256.

(3) Locomotives sans feu : Stæpfer (*Bulletin de l'association scientifique de France*, n° 433, pages 308 et 332. — La locomotive sans foyer : Francq, Association française pour l'avancement des sciences, Congrès de Paris, 1878. — Collignon : Rapport sur la locomotive sans foyer de M. Francq (*Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome VI, page 9).

Locomotive à eau chaude de Francq (*Les mondes*, tome XLVIII, page 448).

Locomotive à vapeur emmagasinée (*Compte rendu mensuel*, juill. 1876, p. 5).

Études sur la traction mécanique des tramways, par G. Flourens, Lille, chez Daniel, 1876.

Locomotive sans feu : Lavoinne (*Annales des ponts et chaussées*, 5e série, tome XVI, page 261).

(4) *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome III, page 23.

Revaux, *Annales des mines*, 7e série, tome XV, page 416.

avaient exposé au Champ-de-Mars. Il en existe également (1) dans les houillères de Pensher (Durham), qui pèsent 711 kilog. en tout, et marchent à la pression de 14 kilog. par centimètre carré, avec des cylindres de $0^m,10$ de diamètre et $2^m,20$ de course. On traîne ainsi deux à trois tonnes en palier sur le pied de 10 à 15 kilomètres à l'heure. M. de Quillacq, à Anzin, en a construit (2), pour la société générale des moteurs à air comprimé du système Mékarski, pour une voie de $0^m,60$ sur $1^m,10$ de largeur et $1^m,55$ de haut. Le réservoir d'air comprimé cube 1.300 litres et renferme 56 kilog. d'air à 30 atmosphères. La bouillote contient 75 litres d'eau chaude. L'écartement des essieux est de $0^m.80$. Le diamètre des roues $0^m,45$; le poids total en charge 2,300 kilog. Dans ces conditions chaque kilogramme d'air peut fournir la traction d'une tonne kilométrique en supposant une résistance de voie égale à $12^k,5$ par tonne. Ces locomotives sont destinées aux mines de Graissessac.

Locomotives routières. — En ce qui concerne les transports *au jour*, les petits chemins de fer à voie étroite avec locomotives appropriées sont souvent employés par les Compagnies des mines. Il suffit de citer à cet égard : Rochebelle (Alais) (3); la Compagnie de l'Aveyron, pour relier les gîtes de Mondalazac, Kaymar et Lunel avec les usines de Firmy et Decazeville (4), Mokta-el-Hadid, Ergastiria (Laurium), Saint-Léon (Sardaigne), etc.

Les locomotives routières ont également joué un rôle, à la vérité très-restreint, pour les transports de minerais, par exemple à Sainbel. On en a essayé à quatre roues, et aussi à trois roues pour moins fatiguer la route, en y traçant trois ornières, avec un tiers du poids, au lieu de deux ornières parcourues deux fois par un quart du poids; mais ce dispositif a peu réussi. On traînait ainsi 16 tonnes et même 20 dans les moments où la route était en bon état.

Ce moyen de locomotion est du reste beaucoup plus développé en Angleterre et en Amérique qu'en France. M. Bolley (du Mans), a construit une locomotive routière qui a été remarquée (5), et qui renferme des organes très-intéressants au point de vue cinéma-

(1) *Glasgow Herald* du 3 août 1878.
Compte rendu mensuel, Chansselle, septembre 1878, page 208.
(2) Appareils exposés par la société générale des moteurs à air comprimé, système Mékarski. Paris, chez Éthiou-Pérou, p. 20.
(3) Ledoux, *Annales des mines*. 7e série, tome V, page 329.
(4) *Compte rendu mensuel*, avril 1877, page 3.
(5) Tresca, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXI, p. 762.

tique. On introduit progressivement l'acier dans ces machines. Les bielles d'accouplement sont sujettes à se déjeter dans les porte-à-faux de la route, et il convient de les supprimer en les remplaçant par des engrenages. On a essayé les bandages élastiques sur les larges jantes pour augmenter l'adhérence, comme dans la locomotive Thomson, dont les roues sont garnies de caoutchouc. Mais on y a presque universellement renoncé, et on les remplace par des bandes diagonales en acier. On tend à augmenter également le diamètre des roues pour diminuer la résistance à la traction. Il atteint souvent 1^m,60. M. Fowler l'a même poussé jusqu'à 2^m,44. La locomotive routière Bède a aussi des roues énormes, mais une masse bien grande pour être d'un usage vraiment pratique. Celles de MM. Aveling et Porter, de Rochester, qui figuraient à l'Exposition de Vienne (1) sont plus maniables. Dans les machines de Marshall, un bâti spécial empêche la transmission des efforts à la chaudière, qui est ordinairement la conséquence de leur association avec les cylindres, comme dans les anciennes locomotives de James Anderson, Scott Russell, etc.

Tractions mécaniques. — La nécessité qui s'impose aujourd'hui d'appliquer dans une certaine mesure au roulage souterrain, comme aux autres branches de l'art des mines, les moteurs mécaniques, et la difficulté d'y parvenir avec les locomotives, ont donné naissance aux tractions mécaniques. C'est surtout en Angleterre qu'elles se sont développées avec exubérance depuis une vingtaine d'années. Elles ont fait plus récemment leur apparition en France, et depuis cinq ans environ elles s'y sont multipliées, peut-être même avec un peu d'engouement. La Compagnie d'Anzin en a établi trois : à la fosse Thiers, à la fosse Réussite et à Bleuse-Borne ; les mines d'Aniche (2), de Liévin, de Ferfay, de Blanzy, de Molières, de Sainbel, de Filhols, etc., ont également monté de très-belles tractions mécaniques. Il en existe six dans les houillères de Saint-Étienne.

La tendance toujours plus marquée à la grande concentration des travaux sur des points qui deviennent en quelque sorte des foyers de production, avec l'emploi de puits moins nombreux et armés de machines de plus en plus puissantes, réclame naturellement le secours de ce moyen de transport. Il procure en outre une économie sérieuse quand on opère sur de grandes masses et de

(1) Tresca, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, t. II, p. 533.
(2) Avec une machine installée au jour.

grandes distances, condition dont on ne s'est pas toujours assez préoccupé. Il assure plus de régularité, en permettant de donner avec une grande facilité un coup de collier pour rétablir le service après un de ces arrêts du trait dans le puits d'extraction qui se répercutent dans toute la mine avec le herschage ordinaire, et exigent parfois un temps assez long pour remettre en mouvement tous les trains immobilisés dans les divers évitements.

Tous les systèmes de traction mécanique peuvent au fond être réduits à deux, quoiqu'on ait multiplié davantage les distinctions : le système *corde-tête et corde-queue* (*tail-rope*) et celui de la *chaîne flottante*. Dans le premier, chaque train est actionné successivement par deux câbles dont l'un le tire et l'autre est tiré par lui. Le câble-tête l'amène de l'intérieur au puits, le câble-queue le ramène en sens inverse. Mais comme il est manœuvré par la même machine, dont on a renversé la marche, ce câble a une longueur double du parcours total et va passer sur une poulie placée au point extrême, d'où le brin de retour revient sur de petits rouleaux placés au plafond des galeries pour ne pas encombrer la voie. Cette traction peut être menée très-rapidement. Elle admet la voie unique, sauf des évitements, ainsi que les pentes et les courbes, au moyen de rouleaux de renvoi qui transforment le câble-tête en un polygone, à côtés suffisamment courts, inscrit dans la courbe. Le câble-queue, au contraire, se dispose suivant les deux tangentes extrêmes, dans des couloirs spéciaux avec poulie de renvoi au point d'intersection de ces deux alignements. Ce système comporte également des embranchements que l'on fait parcourir par les wagons en dételant du tronc principal du câble le tronçon qui règne dans une des travées quand le train est arrivé au croisement, et le rattachant au tronçon placé dans l'autre travée. Une machine à vapeur placée au pied du puits actionne deux grands tambours dont l'un enroule l'une des cordes, tandis que l'autre, par une rotation inverse, laisse le second câble se dérouler avec une faible tension destinée à le maintenir rectiligne, et que l'on détermine en appliquant légèrement le frein sur ce tambour.

La traction par chaîne flottante est absolument différente. La chaîne est sans fin, et le chemin à deux voies. Les deux brins sont disposés suivant les axes des voies. On les soulève de terre pour y glisser à des intervalles égaux des wagonnets isolés les uns des autres, auxquels la chaîne s'adapte au moyen d'une simple fourchette placée à l'avant de manière à recevoir le maillon situé dans un plan vertical et à arrêter le suivant qui est placé dans un plan hori-

zontal. La marche est très-lente. Les travées sont nécessairement rectilignes. L'ensemble de la voie forme par suite, en projection horizontale, une ligne brisée avec des renvois de mouvement aux différents sommets. Ces renvois sont formés d'axes verticaux porteurs de deux poulies pour les deux chaînes sans fin qui aboutissent en ce point. Les projections verticales sont en rigueur, non pas des lignes droites, mais des courbes parallèles à la chaînette formée par cette chaîne pesante, situées à une distance normale marquée par la hauteur du wagon. Aussi remarque-t-on parfois des contre-pentes très-accentuées sur les longues travées des chaînes flottantes à charge et en descente, dont l'installation de Filhols (Pyrénées-Orientales), établie par M. Blanchard sur 7 kilomètres, présente un très-beau spécimen. Il faut également citer, parmi les applications les plus remarquables de la chaîne flottante, le réseau de Mariemont, à la fois extérieur et intérieur, où toute la concentration sur deux triages centraux se fait au jour à l'aide de ces chaînes, ainsi que la circulation intérieure dans les voies principales. Cette belle création ne peut être mieux comparée qu'à la circulation du sang dans le système artériel et veineux d'un être organisé. Dans les mines de Burnley il existe de même 120 kilomètres de chaîne flottante (1).

Ces courtes indications ne sauraient certainement suffire pour donner une idée complète de l'un des perfectionnements les plus importants qui aient été récemment apportés à l'art des mines. On pourra consulter utilement un assez grand nombre de publications originales sur ce sujet (2).

---

(1) Tresca : *Bulletin de l'association scientifique de France*, 15 juin 1879, n° 606, page 154.

(2) *Du transport mécanique de la houille*. Rapport fait à l'Institut des ingénieurs du nord de l'Angleterre, traduit par MM. Briard et Weiler. 1871, Mons, chez Manceaux.

Pernolet : Traction mécanique (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome I, page 239, et tome V, page 396).

Évrard : *Les moyens de transport appliqués dans les mines*. Chez Baudry.

Georges Vuillemin : Note sur la traction mécanique par corde-queue installée aux mines d'Aniche (*Bulletin de la Société minérale*, 2e série, t. IV, p. 429).

Beer : Deux transports par chaîne flottante (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXIII, page 192).

Notice sur les objets exposés par la société des charbonnages de Mariemont à Vienne, page 6. Mons, 1873, chez Manceaux.

Traction mécanique aux mines d'Eisenerz (*Journal de Leoben*, tome XXII, page 311).

Habets : Transports mécaniques (*Revue universelle des mines et des usines*, 2e série, tome III, page 200).

Exploitations en vallée. — La traction par les moteurs mécaniques a été appliquée non-seulement en palier, mais aussi pour remonter les rampes, soit au jour, soit dans le fond lorsqu'on exploite en vallée. Il est alors inutile d'avoir un câble-queue, puisque la gravité suffit pour ramener le train en arrière. Parfois on a plusieurs tractions sur le même plan incliné. A Drifton (Pennsylvanie), on emploie trois voies avec une machine qui tourne toujours dans le même sens, en débrayant successivement les tambours dont le câble est enroulé pour le dérouler par la pesanteur au frein (1).

Le moteur est presque toujours la vapeur. On emploie aussi, quoique plus rarement, la force hydraulique, comme au grand plan incliné de la Pise (Grand'Combe); l'air comprimé, comme dans les mines de la Société Powell's Duffryn (sud du pays de Galles) (2) et celles de Kladno (Bohême); et enfin l'équilibre entre les charbons qui descendent et ceux qui montent sur des travées distinctes pour se réunir sur un niveau intermédiaire, comme à Mariemont, Sarrebrück, etc.

L'exploitation en vallée est incontestablement une combinaison défectueuse au point de vue du roulage; mais elle peut être judicieusement motivée par diverses circonstances, et l'on en rencontre encore assez souvent. Cette marche descendante peut être nécessitée, par exemple, par le dégagement du grisou. Il en est de même avec les gîtes qui plongent sous l'Océan et pour lesquels il ne peut être question de rejoindre le pied de l'aval-pendage par un puits dont l'emplacement tomberait en pleine mer, ou par un travers-bancs qui serait trop long si la couche est peu inclinée. Il peut être impossible, en raison de l'existence de couches très-aquifères dans le mur, d'approfondir un puits au-dessous de la couche utile, à l'endroit où il la rencontre, comme on le ferait, sans ce motif, en vue de la rejoindre plus bas par un travers-bancs, et d'exploiter toute cette zone avec des plans inclinés automoteurs. Dans certains dénoyages de couches très-inflammables, on baisse les eaux seulement à la demande du développement des travaux. Quelquefois enfin on se met en vallée uniquement pour gagner du temps, en raison de difficultés d'épuisement ou de motifs d'un ordre commercial, en devançant les délais du réavalement ou de l'armement d'un puits d'extraction. Dans toutes ces circonstances, il devient nécessaire de remonter le charbon sur les rampes.

(1) Henry, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 604.

(2) Lecornu, *Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 346.

Embarquement. — La question de l'embarquement facile et rapide, à l'extrémité des voies ferrées établies sur les concessions de mines, a fourni dans ces derniers temps l'occasion de nombreux et parfois de magnifiques travaux. On peut citer, sous ce rapport, les rivages d'Anzin (à Denain), d'Aniche (près Douai), de Vicoigne (à Beuvry), de Courrières, de Bully-Grenay (en projet), de Bruay (avec le basculeur hydraulique Fougerat), de Blanzy. Cette dernière compagnie possède en propre sur la Saône une flotte de 400 bateaux charbonniers et de 6 remorqueurs à vapeur.

Les estacades de Marquette, sur le lac Supérieur, ont une longueur de 373 mètres, dont 200 accessibles aux navires. Elles devaient être encore prolongées d'environ 150 mètres au large. Leur hauteur est de 12 mètres au-dessus du plan d'eau; 136 poches à minerai sont disposées sur leur développement. On peut charger 8 bateaux à la fois et 6.000 tonnes par jour. Un navire de 500 tonnes se charge en une heure et quart.

Nous possédons en France un magnifique exemple de ce genre de travaux : ce sont les rivages de Lens, établis par M. Reumaux. Le chemin de fer de la compagnie accoste la Deule le long d'une terrasse élevée. 48 glissières sont disposées pour un nombre égal de wagons. Elles sont en tôle. Une première partie, ménagée sur le terre-plein, présente une pente de 32 degrés; une seconde se trouve en encorbellement avec 50 degrés et des raccordements en surface gauche avec les parois latérales. Un bec terminal est mobile et peut être manœuvré du bord, de manière à se mettre sous toutes les inclinaisons, même en dessous de la partie fixe par un renversement, pour déverser le charbon doucement et sur tous les points de la largeur du bateau. Quand le train a accosté, la locomotive se détache, va s'aiguiller et revient sur une voie parallèle se mettre successivement en face de chaque wagon. Celui-ci se compose d'un truc surmonté de deux caisses distinctes, en vue de fractionner le poids. On les a disposées à charnière libre, pour éviter l'encrassement et surtout pour pouvoir en avoir sur les deux bords, de manière que le wagon puisse être attelé indifféremment dans les deux sens. On engage un étrier sous la caisse, le mécanicien donne la vapeur dans un cylindre vertical qui soulève, au moyen de cet étrier, le bord de la caisse et la fait basculer latéralement. Après le déversement, on laisse échapper la vapeur, la caisse retombe, et l'on passe à une autre en déplaçant successivement la locomotive.

§ VII. — Extraction.

Câbles. — Le Conseil général des mines a émis le vœu qu'en raison de la fréquence des accidents dus à la rupture des câbles, des études spéciales fussent dirigées dans ce sens par les soins de l'Administration centrale. Une Commission spéciale a été instituée à cet effet par M. le Ministre des Travaux publics, et chargée par lui de préparer le questionnaire d'une enquête auprès des ingénieurs des mines, des exploitants et des fabricants de câbles, en dépouillant leurs réponses pour formuler des conclusions sur cette matière délicate. Cette Commission a commencé ses travaux et reçu de l'Administration les réponses réclamées par elle. Il y a donc lieu de croire que cette accumulation de renseignements et les discussions auxquelles ils donneront lieu jetteront sur cette question très-obscure et fort peu connue une lumière suffisante pour permettre de rédiger un travail beaucoup plus complet qu'il ne serait possible de le faire en ce moment. Pour ce motif, je réserverai ici complétement ce qui concerne les câbles de mines, en me bornant à indiquer quelques sources auxquelles on peut se reporter dès à présent sur ce sujet (1).

---

(1) Villiers : Expériences sur l'emploi des câbles (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, tome IV, page 337).

Thormann : Expériences sur l'emploi des câbles (*Ibidem*, page 575).

Chansselle : Câbles de Firminy (*Ibidem*, 1re série, tome V, page 676).

Leseurre : Expériences sur l'emploi des câbles (*Ibidem*, 1re série, tome VII, page 347).

Mattey : Notice et résultats d'expériences sur l'emploi des câbles (*Ibidem*, 1re série, tome XI, page 1).

De Villaine : Résultats d'expériences sur l'emploi des câbles (*Ibidem*, 2e série, tome II, page 104).

Terraillon : Notes et observations sur l'emploi des câbles plats en fil de fer. Cite les sources précédentes (*Ibidem*, 2e série, tome III, page 577).

Pinel : Note sur les câbles (*Ibidem*, 2e série, tome III, page 745).

Dwelshauvers-Dery : Régularisation de la décroissance du câble (*Revue universelle des mines et des usines*, 1874, 2e volume, page 1).

Journal des mines, 1878, page 758 et 791).

Écho des mines : Câbles en fils de bronze phosphoreux, 1877, page 599.

Écho des mines : Câbles d'acier de Przibram, 1877, page 165.

Câbles en acier (*Compte rendu mensuel*, octobre 1876, page 17 ; novembre 1876, page 6 ; juin 1878, page 127 ; août 1878, page 172).

Havrez : Câbles en acier (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXIII, page 99).

Ollier : Câble théorique en acier (*Compte rendu mensuel*, juin 1878, p. 127).

Chansselle, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VII,

Régularisation du moment moteur. — Deux perfectionnements importants ont été apportés récemment aux recherches théoriques de Combes sur la régularisation du moment moteur au moyen des bobines et des tambours coniques. Le premier a pour but de substituer au profil rectiligne de ces derniers, qui n'est capable que d'une régularisation approximative, une courbe méridienne tellement déterminée qu'elle assure la constance rigoureuse de ce moment. Après les premières recherches sur ce sujet, dues à Gertsner (1), M. Dwelshauvers-Dery a traité la question au moyen d'une analyse extrêmement ingénieuse (2). Ces *tambours spiraloïdes* se répandent beaucoup depuis quelque temps. MM. Chansselle et de Loriol ont décrit quelques-uns de ceux qui ont été établis dans le bassin de la Ruhr (3).

L'amélioration ainsi apportée à l'équilibre donne au mécanicien plus de facilité pour ses manœuvres; il peut commencer son ralentissement à un moment beaucoup plus rapproché des extrémités de la course. Le grand rayon de ces organes permet d'accélérer la vitesse dans le puits, tout en gardant une allure suffisamment lente pour le piston. En revanche, on peut leur reprocher le danger de la sortie du câble hors des spires dans lesquelles il est engagé, et qu'il faut au moins refouiller en gorges profondes. Elles présentent, du reste, l'avantage d'éviter le frottement des spires les unes contre les autres. Les énormes proportions de quelques-uns de ces appareils (4) les rendent lourds et encombrants. Ils masquent alors une partie de la recette aux regards du mécanicien. La distance du treuil au puits se trouve exagérée pour diminuer l'obliquité qui tendrait justement à faire sortir le câble des gorges. Elle est, à Seraing, de 50 mètres horizontalement. Enfin la grande précision de la solution, en dehors de laquelle l'appareil perd tous ses avantages en gardant ses inconvénients, le met hors de service lors du moindre réavalement du puits d'extraction, tandis que la solu-

---

p. 799, et *Compte rendu mensuel*, juin 1879, page 8.
Considère, *Compte rendu mensuel*, janvier 1879, page 12.
Possebeg, *Revue universelle des mines et des usines*, 2ᵉ série, t. IV, p. 291.
Van Scherpenzeel (*Ibidem*, 2ᵉ série, tome I, page 513).
Notice sur les charbonnages de la société John Cockerill, page 5 (Liége, chez Vaillant-Carmanne, 1878).

(1) *Handbuch der Mechanik*.

(2) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXI, page 45.

(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome VI, pages 566 et 598.

(4) A Clifton-Hall, le grand diamètre atteint 7ᵐ,50, et, au siége Marie-Colard de Seraing, 10 mètres.

tion approximative de Combes présente beaucoup plus d'élasticité.

Le second pas qui a été franchi dans l'étude théorique de la question concerne les câbles diminués, dont l'emploi tend à se répandre en vue des grandes profondeurs. M. Dwelshauvers-Dery a traité le problème des bobines et câbles plats diminués en largeur mais d'épaisseur constante (1). M. l'ingénieur des mines Worms de Romilly a envisagé de même la variation de l'épaisseur (2). En ce qui concerne les câbles ronds, M. Jules Havrez a fait l'étude numérique (3) de l'établissement d'un tambour spiraloïde pour des câbles composés de mises successives de 100 mètres, de rayon constant pour chacune d'elles et variable de l'une à l'autre.

Il ne sera pas sans intérêt de faire ici une mention spéciale de l'appareil d'extraction le plus profond qu'il y ait au monde, celui du puits Adalbert de Przibram, qui a été établi sur une hauteur de 1.020 mètres (4). L'extraction annuelle y est d'environ 112.000 tonnes avec un trait de seize heures par jour. Les cages n'ont qu'un seul étage. Elles circulent à la vitesse de 6 mètres, arrêts compris. Le câble est en acier, à section décroissante, formé de 36 fils supportant à la rupture 115 kilogrammes par millimètre carré. Son diamètre varie de 27 à 19 millimètres et son poids total est de 1.809 kilogrammes. On a renoncé aux bobines pour éviter les câbles plats, et aux tambours spiraloïdes à cause des dimensions irréalisables qu'ils eussent exigées (petit diamètre : 9^m,30 ; grand diamètre : 13 mètres ; longueur : 6^m,30). L'absence de dispositions d'équilibre n'a pas entraîné une variation du moment moteur excédant ce qui était admissible.

Citons encore à ce sujet le perfectionnement apporté à la bobine folle par M. Paul Fayol, à Carmaux. On sait que cet organe est destiné à permettre d'extraire successivement à divers étages. Il suffit pour cela de déclaveter une des bobines, de la tourner seule sur son axe de manière que, la seconde cage restant, par exemple, au jour, la première passe de l'accrochage dont le service vient d'être terminé, à celui que l'on veut dorénavant desservir. On cale de nouveau la bobine et le trait peut recommencer. Or la clavette se manœuvre à vis, et comme elle a, en vue de la solidité des bo-

---

(1) *Revue universelle des mines et des usines*, tomes XXX, page 345, et XXXVI, page 1.

(2) *Annales des mines*, 7e série, tome V, page 181.

(3) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXIII, p. 86 et 121.

(4) Johann Novak (*Œst. Zeitschrift für den Berg und Hüttenwesen*, mars 1875).

L. Hajnis (*Engineering*, 8 juin 1877).

bines, une assez grande longueur, il s'ensuit une certaine perte de temps. En vue d'accélérer l'opération, M. Fayol a recours à l'artifice qui a été employé dans les vis de culasse. Il compose les prisonniers de plusieurs travées distinctes, de telle sorte que, la clavette étant retirée d'une fraction seulement de sa longueur, les diverses parties qui étaient engagées arrivent chacune en face d'un vide et que la bobine se trouve libre.

M. Demanet a installé aux charbonnages de Bois-de-Lin des bobines très étroites (1) dans lesquelles un câble rond s'enroule sur lui-même. On profite ainsi des avantages du câble rond, en évitant l'encombrement des tambours spiraloïdes. M. Considère a fait remarquer à cet égard que le diamètre du câble rond étant nécessairement supérieur à l'épaisseur du câble plat équivalent, les bobines doivent avoir un rayon d'estomac plus grand. Le câble fait donc moins de tours pour une même profondeur et l'action régulatrice est moins prononcée.

Indépendamment des bobines et des treuils coniques ou spiraloïdes qui forment les seules solutions vraiment courantes, on a eu recours à d'autres conceptions. M. Romp, ingénieur de Seraing, a proposé de faire comprimer de l'eau dans un accumulateur dans les intervalles où le moment moteur est surabondant, pour venir ensuite en aide à sa diminution. Cette notion paraît d'une réalisation assez compliquée.

On a employé dans quelques mines du nord de l'Angleterre (2) un contre-poids solide roulant à l'extrémité d'un câble sur une courbe déterminée en vue de l'équilibre rigoureux à chaque instant ; système analogue à celui de certains ponts-levis.

Les câbles de contre-poids, qui se déposent dans le fonds d'un bure ou dont la seconde extrémité est attachée à un point fixe, ont été décrits par Combes, qui en a donné la théorie (3). Mais le problème de l'équilibre au moyen de câbles vient de recevoir une solution toute différente. Je veux parler du câble sans fin, ou, si l'on veut, d'un second câble attaché sous les cages et d'une longueur égale à la hauteur du puits. Ces *machines d'extraction à câbles équilibrés* avaient été proposées depuis longtemps, sans réussir à fixer

---

(1) Chansselle, *Compte rendu mensuel*, janvier 1879, page 8.

(2) *Transactions of the north of England Institute of Mining and mechanical Engineers*, tome XX, 1871.

(3) Combes, *Annales des mines*, 3e série, tome XI, page 56.

John Daglish, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VI, page 417.

Dombre, *Ibidem*, 2e série, tome IV, page 808.

l'attention. Elles ont été réalisées tout récemment par M. Kœpe aux puits Hannover et Westhausen de Westphalie (1). Les tambours ou bobines sont remplacés par une simple poulie à gorge embrassée par le câble qui porte les cages et passe sur les deux molettes. L'adhérence est suffisante. Entre ce câble et les cages sont interposés des ressorts pour permettre à la cage supérieure de s'élever au-dessus du clichage d'une quantité suffisante pour la manœuvre de ce dernier, lorsque la cage inférieure repose déjà sur ses taquets. On observe dans ces conditions un mouvement moins oscillant pour les cages et une très grande régularité pour le câble d'équilibre. Ce procédé attribuant aux deux cages une vitesse constante, on peut la porter sans inconvénient jusqu'à la valeur maximum usitée avec le système ordinaire et obtenir ainsi, par conséquent, une marche d'ensemble plus rapide. En outre, les cages ne peuvent être envoyées aux molettes, car dès que celle du fond porte sur son clichage, le câble mollit et l'adhérence cesse sur la poulie motrice. On remarquera que la longueur de câble en service reste toujours la même qu'à l'ordinaire, à peu de chose près. Mais une seule des moitiés, celle qui porte les cages, éprouve la fatigue de l'enlevage et du poids mort. L'autre ne fait que se porter elle-même, ce qui lui assure naturellement une durée plus longue. A côté de ces avantages on peut redouter certains inconvénients. En cas de rupture de câble, le désastre et le sauvetage seront aggravés. Le service d'extraction à plusieurs étages est plus embarrassant. Il ne peut plus être question d'employer les câbles coniques pour les grandes profondeurs. L'épuisement par les bennes devient difficile, à moins d'employer un chevalement très élevé, qui permette de monter la cage supérieure pour descendre d'autant la seconde dans le puisard, puisqu'on ne peut plus régler la longueur des câbles.

Une partie de ces inconvénients disparaît dans un système analogue qui est, du reste, un peu antérieur en date au précédent et fonctionne depuis quatre ou cinq ans dans le bassin de Sarrebrück (2). Sur un tambour cylindrique sont fixés les deux bouts du câble dont la boucle pend dans le puits, de telle sorte que, quand une longueur quelconque se déroule, une portion égale de l'autre brin s'enroule par cela seul, et la boucle ne change pas de

---

(1) Considère, *Compte rendu mensuel*, décembre 1878, page 253, et mars 1879, page 70.

Chansselle et de Loriol, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 752.

(2) Rossigneux, *Compte rendu mensuel*, juillet 1879, page 166.

figure. Le câble traverse les deux cages de part en part. Elles y peuvent glisser comme des curseurs, et on les y fixe à volonté au moyen de mâchoires striées. On obtient par là le service de l'extraction à divers étages. En outre, dans le cas de rupture du câble, une seule cage a à en souffrir, tandis qu'avec le système Kœpe, l'adhérence étant détruite, les deux cages et la totalité du câble tombent au fond.

Molettes. — Les molettes ont pris des diamètres extrêmement grands en raison de l'introduction des câbles d'acier qui exigent essentiellement de faibles courbures d'enroulement. On a été jusqu'à 6 mètres à la fosse Renard de la compagnie d'Anzin. La jante est parfois bombée pour mieux tenir le câble plat. On se trouve bien des garnitures en bois de peuplier. On a même essayé le caoutchouc (1).

On a employé parfois des suspensions à ressorts pour les molettes, afin d'amortir sur le chevalement le retentissement des oscillations du câble. Cependant la compagnie d'Anzin, qui les avait essayées, en a abandonné l'usage.

Au puits Grangier de Bességes, on a disposé un axe de molette taraudé en vis afin que son déplacement latéral maintienne le câble directement en face de son point d'enroulement sur le tambour. Il en résulte à la vérité une certaine obliquité du câble entre la molette et la cage, mais elle se répartit sur une longueur beaucoup plus grande que celle du puits à la machine. Cette dernière obliquité varie dans les mines françaises entre 5 et 35 millimètres par mètre, mais M. Havrez recommande (2) de ne pas dépasser le maximum de 20 millimètres.

On regarde en général comme un grand inconvénient de la disposition ordinaire, que, l'un des câbles s'enroulant en même sens sur sa molette et la bobine correspondante, l'autre se courbe dans deux sens opposés, ce qui le fatigue davantage. Des combinaisons d'engrenages avaient été essayées autrefois à Decize en vue de supprimer cet inconvénient, mais elles ont été promptement abandonnées. La machine Colson avait été imaginée dans le même but. Le cylindre y est vertical et la tige du piston porte une double potence des extrémités de laquelle des bielles actionnent, en deux sens contraires l'un de l'autre, les arbres distincts des deux bobines. Dès lors les câbles n'ont plus qu'à s'échapper sui-

(1) H. Glépin, *Revue universelle des mines et des usines*, tome XL, page 175.
(2) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXII, page 130.

vant les tangentes extérieures de ces dernières et des molettes. La disposition Devillaine, à Montrambert, qui a été très-remarquée à juste titre, résout le même problème à l'aide de deux puits jumeaux (1). Dans chacun d'eux circule une cage. Les molettes sont placées dans le plan des axes de ces deux puits tangentiellement à ces axes. L'arbre des bobines est perpendiculaire à ce plan et situé au milieu de cet intervalle, qui est égal à 14 mètres. Les enroulements des câbles s'y faisant dans des sens opposés, ceux-ci se courberont sur leurs molettes respectives dans le même sens que sur leurs bobines.

Les molettes ont été supprimées dans un dispositif tout spécial adopté par M. de Baumefort aux mines de fer du Lac, près de Privas (compagnie de Terrenoire). L'orifice du puits est recouvert d'une voûte d'arête de 8^m,60 sous clef. Sur la plate-forme qu'elle supporte se trouve installée la machine d'extraction. Un orifice pratiqué dans le cerveau de la voûte permet au mécanicien d'apercevoir les manœuvres de la recette. Les bobines sont établies sur des axes distincts de part et d'autre de l'axe du puits dont leurs tangentes verticales sont extrêmement rapprochées. Le diamètre d'enroulement varie de 2^m,80 à 3^m,35. Deux rouleaux-guides de 0^m,60 renvoient le câble dans la verticale après une légère obliquité, variable avec l'enroulement. Si l'on envisage cette solution à un point de vue général, on peut craindre que la suppression radicale des inconvénients inhérents aux molettes soit plus que compensée par les frais et les embarras d'une telle création, que des circonstances locales recommandaient au contraire dans ce cas particulier.

Cages. — La supériorité incontestable des cages guidées sur les anciens cuffats tient à deux causes. En premier lieu, le guidonnage permet une vitesse incomparablement plus grande, et, en outre, l'absence de transbordement dans le fond évite une perte de gros que M. Guary évaluait à 4 pour 100 environ (2). On peut concevoir une solution intermédiaire qui conserve le premier avantage en renonçant au second. C'est celle des caisses guidées remplies à la recette inférieure par le déversement de plusieurs berlines. M. Alayrac a appelé l'attention sur ce système, trop dédaigné, suivant lui, quand la profondeur ne dépasse pas 300 mè-

(1) Puits jumeaux de la société de Montrambert, par M. Devillaine (*Bulletin e la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome II, page 65).

(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, tome IV.

tres, et pouvant, d'après ses calculs (1), donner lieu à des économies qui compenseraient la perte de gros. Un pareil transbordement a encore lieu dans certains puits du bassin de la Ruhr (2) ainsi qu'à Sablé, où le menu domine complètement.

L'inconvénient inhérent aux cages réside dans une augmentation importante du poids mort. Depuis quelque temps on s'attache à y remédier par l'emploi de l'acier dans leur construction. Par là, le rapport de la charge utile au poids mort dans l'enlevage sans le câble, qui était autrefois de 30 pour 100 et plus récemment de 40 pour 100, peut être porté à 50 et 55 pour 100 (3).

On emploie des cages à un ou deux étages, à une ou deux travées, à une ou deux longueurs de berlines. Au puits n° 5 de Lens, tous ces dédoublements ont été appliqués à la fois et ont donné une cage à huit berlines.

Parachutes. — Le parachute est une annexe de la cage, dont l'emploi devrait être certainement plus répandu qu'il n'est encore aujourd'hui. Certains préjugés règnent dans beaucoup d'exploitations contre ces appareils. Je les reproduis ici sans y attacher, pour ma part, l'importance qu'on leur accorde parfois. On prétend que les parachutes font naître une sécurité morale qui est de nature à endormir la surveillance de l'état des câbles. On leur reproche aussi de fonctionner hors de propos, en raison des oscillations de la cage qui danse sur le câble, en diminuant sa tension comme par le fait d'une rupture, ou lorsque des glaçons ou autres obstacles accidentels accrochent et relèvent les griffes. Dans ces conditions le service se trouve arrêté et les guidonnages détériorés. M. Fontaine fils a remédié à cet inconvénient en ce qui concerne l'élasticité, par l'introduction de son tendeur compensateur (4). On leur reproche également de ne pas se trouver, par suite d'un défaut d'entretien, en état de fonctionner avec sûreté au moment critique. Il est arrivé parfois aussi que le câble, après s'être rompu, suive la cage dans sa chute en fouettant contre les parois du puits. Il fait alors fonction de guide-rope et conserve de la tension, ce qui empêche le jeu des ressorts du parachute. On a, en vue de cet inconvénient, très-judicieusement introduit à

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome I, p. 265.
(2) *Ibidem*, tome IV, page 549.
(3) Jules Havrez, *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXIII, page 86.
(4) *Compte rendu mensuel*, décembre 1875, page 7.

Dortmund (Westphalie, mine de Constantin-le-Grand) un levier spécial qui, indépendamment du déclanchement spontané, permet aux hommes de faire jouer eux-mêmes les griffes, lorsqu'ils conservent le sang-froid et la présence d'esprit nécessaires, en cas de rupture du câble, et surtout d'inadvertance du mécanicien qui les conduit au puisard. On peut, à la vérité, citer des exemples de parachutes dont les griffes avaient fait prise et qui ont été détachés et entraînés par la chute du câble sur le toit. Il est arrivé également que, le parachute ayant fait prise, la cage bascule et chavire en versant les hommes, s'ils ne sont pas retenus par un grillage.

Les divers systèmes de parachute qui ont été proposés sont innombrables. Mais on peut tous les rattacher à un petit nombre de principes distincts. Le premier et le plus sûr consiste dans l'emploi de griffes qui sortent de leur logement et s'incrustent dans le guidonnage. Leur seul défaut est de ne pouvoir s'appliquer aux guides en fer et de détériorer le bois. Tels sont les parachutes Fontaine (1), Jacquet (2), Cousin (3), Delmich, Hypersiel (4), Jardé, Legrand (5), Machecourt, Schœnemann, Taza-Villain, etc. Deux modes ont été employés à cet égard, suivant que les bras tendent à écarter les guidonnages, comme dans le type Fontaine, ou qu'ils serrent la longrine à la manière d'une mâchoire, ce qui est plus sûr, comme dans le parachute Jacquet.

Le second principe fait intervenir un frottement intense, supérieur au poids. Il a été employé par MM. Bourdon, Frédureau (6), Nyst, Piérard, Turner (7), etc.

On obtient dans cet ordre d'idées un effet bien plus certain en substituant au simple travail de frottement destiné à détruire la force vive, l'arc-boutement qui produit l'impossibilité absolue du mouvement. Ce principe est même tellement radical qu'il nécessite l'interposition de ressorts d'amortissement, car il ne laisse aucun parcours pour l'extinction de la force vive, et produit par suite

---

(1) Comte, *Annales des mines*, 5e série, tome I, p. 169, et tome II, p. 553.

(2) Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 2e série, tome XIX, page 153.

Les mondes, tome XXVII, page 389.

(3) *Echo des mines*, 1876, p. 17.

(4) H. Glépin, *Revue universelle des mines et des usines*, tome XL, p. 167; Favel, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. III, p. 347.

(5) *Revue universelle des mines et des usines*, tomes XXIII-XXIV, p. 409.

(6) *Annales des mines*, 6e série, tome VII, page 113.

(7) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, p. 334.

des efforts exorbitants, tandis que les modes précédents emploient à l'extinction de la force vive un trajet, très-court à la vérité, mais sensible. On peut rattacher à ce système les types Lehmann, Libotte (1), Micha, Otto, Salva (2), Veillon (3), etc. On vient ordinairement en aide à l'arc-boutement, pour le guidonnage en bois, par l'emploi de stries pratiquées sur les cames de serrage.

Le quatrième principe est celui des verrous qui se prennent dans les moises du guidonnage (systèmes Buttgenbach, Paul Fayol, etc.); mais encore ici l'arrêt est trop absolu et expose à cisailler les verrous. Pour y remédier, M. Fayol a associé au verrou un effet de frein. Si la rupture a lieu très-près d'une moise, le frein n'a pas, à la vérité, le temps de frotter, mais en même temps la force vive n'a pas eu le temps de s'accroître par l'effet de la chute; et si, au contraire, la rupture a lieu loin de la moise, le frottement développe un travail proportionnel à celui de la pesanteur, puisque c'est sur la même hauteur qu'ils s'exercent tous les deux.

M. l'ingénieur en chef des mines Moissenet a rappelé dans son mémoire sur le comté de Cornouailles (4) l'emploi de chaînes pour l'extraction et de trappes baissées sur le puits pour faire fonction de parachutes. La chaîne montante peut passer en les soulevant légèrement; mais si elle casse au-dessus de ce point, elle ne peut plus redescendre et reste engagée entre les lèvres des trappes, qu'elle tient appliquées sur leurs siéges. Or les chances de rupture sont évidemment plus grandes pour la chaîne montante, et celle-ci se prolonge au jour sur des distances horizontales assez notables pour relier, suivant l'usage de ce district minier, plusieurs puits d'extraction à un même tambour moteur vertical.

Citons enfin un sixième principe employé dans le parachute d'équilibre (système Fagès). Indépendamment de sa nouveauté, il présente un intérêt spécial, car il peut s'appliquer aux guidonnages en câbles, qui échappent à l'application des systèmes précédents. Un câble spécial ou, au besoin, un ou deux des câbles-guides passent sur des poulies supérieures, redescendent de l'autre côté, et s'attachent à un poids plus grand que celui de l'enlevage et reposant sur son siége en temps ordinaire. Une main de fer suit le câble, mais reste ouverte sans le serrer. En cas de rupture du câble-

(1) H. Glépin, *Revue universelle des mines et des usines*, tome XL, p. 164.
(2) Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 2e série, tome XIX, page 617.
Annales industrielles, 1er octobre 1871.
(3) *Compte rendu mensuel*, juin 1876, page 18.
(4) *Annales des mines*, 6e série, tome II, page 155.

porteur, un déclanchement fait serrer cette main de fer. Elle pince le câble-parachute, l'entraîne et soulève de terre les contre-poids, qui ont bientôt anéanti la force vive de la cage. Ce système a été installé à Bernissart. Il figurait dans l'exposition d'Anzin.

Guidonnages. — Les guides les plus employés sont toujours les longrines de bois (1). A Carmaux, à Blanzy, à Commentry, on les réunit aux moises sans aucune ferrure, avec des assemblages en queue d'ironde du système Georges Vidal, que l'humidité contribue à serrer (2). Il est bon de poser les moises en même temps que la maçonnerie. Elles font alors mieux prise et servent en même temps à s'échafauder pour exécuter l'ouvrage.

On a établi un certain nombre de guidonnages métalliques à l'aide de rails ou de fers à T (3), par exemple à Bascoup (4). On en a aussi construit à Layon-et-Loire et à Montieux, en tiges de fer formées de mises successives vissées les unes au bout des autres et qui se comportent à peu près comme les guidonnages en câbles (5). M. Meurgey a même proposé, pour éviter la fatigue des pas de vis, de souder toutes les barres au dehors et de profiter de la flexibilité de cette tige, très-mince par rapport à sa longueur, pour l'introduire dans le puits (6).

Les guides en câbles (7) sont plus économiques (au moins de moitié) que les guides en bois, d'un entretien à peu près égal et d'une beaucoup plus grande rapidité d'installation (jusqu'à dix fois, aux termes d'un rapport de M. Baretta) (8). Le câble reste nécessairement rectiligne, tandis que les mouvements du terrain avec un puits guidé en bois, risquent de serrer les cages. La conservation est meilleure pour le fer quand il s'agit de puits de retour d'air ou de foyers d'aérage. La section libre du puits se trouve

(1) Fayol, *Compte rendu mensuel*, septembre 1876, page 36; *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VI, page 697.

(2) La Romiguière, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, tome XII, page 93.

(3) Henri Glépin, *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXII, page 64.

Donchier, *Compte rendu mensuel*, janvier 1879, page 11.

Revue universelle des mines et des usines, 2e série, tome IV, page 211.

(4) *Bulletin de la société des anciens élèves de l'Ecole des mines*, cité par M. Meurgey (*Compte rendu mensuel*, septembre 1876, page 37).

(5) Gastineau, *Compte rendu mensuel*, fevrier 1876, page 3; Mâle, *Ibidem*, mars 1876, page 14; Davy, *Ibidem*, 1876, janvier, page 4 et juin, page 27.

(6) *Compte rendu mensuel*, février 1876, page 4.

(7) Leduc, *Revue universelle des mines et des usines*, 2e série, t. IV, p. 207.

(8) *Compte rendu mensuel*, août 1875, pages 3 et 5; avril 1877, page 13.

moins réduite que par l'emploi des moises de charpente. En revanche, le guidage en bois admet plus facilement les grandes profondeurs, et se prête à l'emploi des parachutes à griffes ; il résiste aux eaux acides ; il évite les oscillations qu'un guidonnage en câbles imprime au chevalement, à moins qu'on ne donne à ce dernier, pour ce motif spécial, un supplément de stabilité. Ce mode permet également de plus grandes vitesses, tandis qu'avec les câbles on se trouve limité sous ce rapport, en raison des oscillations qu'ils prennent si l'on exagère l'allure. On a pourtant pu atteindre avec les câbles 450 mètres de profondeur en France, et 560 mètres en Angleterre (1).

On les raidit avec des poids ou avec des vis. A Heydon, on a employé un tendeur hydraulique. A cet effet, l'extrémité inférieure du câble pénètre à travers une garniture dans un petit cylindre dont le piston supporte une charge hydrostatique arbitraire qu'il est toujours facile de se procurer (2).

M. Galloway a introduit pour les puits en fonçage un système de guides provisoires (3). Il consiste en un cadre suspendu à deux câbles que l'on peut laisser filer au moyen d'un treuil et de deux molettes, de manière à suivre l'avancement à peu de distance. Ce cadre supporte un plancher dans lequel on a ménagé une ouverture pour le passage des bennes et une autre pour le tuyau de retour d'air. Une poutrelle mobile dirigée par le guidonnage est percée de trois trous dans lesquels sont enfilés les deux câbles guides et le câble d'extraction de la benne. Elle se place sur cette dernière et en assure le mouvement. Quand la benne traverse le plancher en descendant, la poutrelle s'y pose, et se trouve reprise par la benne quand celle-ci remonte.

Clichages. — Les clichages exposent à un danger sérieux lorsqu'ils viennent à se trouver fermés par un malentendu, et à arrêter la cage en pleine marche. Les systèmes à verrous déterminent alors le choc pour les deux sens, les clichages à loquets seulement pour la cage descendante. A cet égard, M. d'Andrimont a fait figurer dans son exposition des charbonnages du Hasard un appareil ingénieux destiné aux puits qui desservent plusieurs niveaux, pour l'extraction ou le service des hommes. Pour éviter qu'un

---

(1) Luyten, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, t. IX. Havrez, *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXI.
(2) *The Engineer*, 1877.
(3) Sauvage, *Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 610.

ordre donné à partir de la surface ne soit mal compris par les receveurs des divers accrochages, on leur retire la manœuvre de leurs propres clichages, et l'on confie tous ces derniers, réunis par une tringle, à un aide du mécanicien du jour. Cet homme se trouve mieux placé pour saisir les ordres qui sont donnés, et voit en outre par lui-même ce qui se passe à l'orifice du puits. Sachant à quel étage les hommes qui descendent veulent s'arrêter, il efface tous les clichages intermédiaires tant que la cage ne les a pas franchis, et renverse son levier quand celle-ci est engagée dans la dernière travée. Il est du reste suffisamment averti du mouvement de cette cage par un modèle qui en présente la réduction à petite échelle.

Un système spécial de clichages a été installé par M. Reumaux à la fosse n° 5 de Lens, sous le nom de *taquets hydrauliques* (1). Un piston est soulevé dans un corps de pompe par une pression inférieure lorsqu'on vient à ouvrir un robinet. Le clichage qu'il porte à son sommet, renversé par un poids et effacé en dehors de la section du puits, rencontre un butoir qui le met en position. On ferme le robinet, et l'eau, qui est incompressible, forme un point d'appui irrésistible pour la cage descendante, qui vient se poser sur les clichages. On fait ainsi la manœuvre de l'étage inférieur de la cage. Puis, ouvrant doucement le robinet, on laisse descendre le piston jusqu'à ce que la cage qu'il supporte, refoulant l'eau par son poids, amène son étage supérieur devant la recette pour permettre d'effectuer la seconde manœuvre. Enfin, au signal donné, le mécanicien enlève.

Recette supérieure. — Encore aujourd'hui les abords d'un grand nombre de puits restent sans garde-corps. Il est donc à propos de recommander l'usage des grilles mobiles que la cage enlève sur son toit, en sortant au jour, pour permettre les manœuvres, et qu'elle dépose sur le bord du puits en redescendant pour en fermer le périmètre. On emploie de même pour barrer la galerie, dans les recettes intérieures, une grille qui se trouve enlevée par une chaîne au moment où la cage appuie par un taquet sur l'autre extrémité de cette chaîne passée sur une poulie, pour venir se placer devant la bouche de la galerie.

A Carmaux, on a disposé des taquets qui dans l'état normal se trouvent redressés, et empêchent les bennes de pouvoir, par une fausse manœuvre, être précipitées dans le puits. Quand la cage vient se poser sur le clichage, sa pression efface les taquets au

(1) *Compte rendu mensuel*, janvier 1877, page 5.

niveau du rail, et les wagons peuvent alors librement entrer dans la cage et en sortir.

La disposition des voies ferrées qui conduisent de l'orifice du puits aux culbuteurs dépend partout des conditions locales. On peut citer pour son élégance celle du n° 5 de Lens. Les voies situées devant les deux travées de la cage se bifurquent deux fois, de manière à conduire les huit berlines à huit culbuteurs disposés en ligne droite, avec huit tables sans fin placées pour le triage à un niveau inférieur et se déroulant suivant des lignes droites perpendiculaires à l'alignement des culbuteurs.

Le verseur roulant de M. Marsaut figurait au Champ-de-Mars dans l'exposition de la compagnie houillère de Bességes. Il consiste en un grand cylindre contenant des rails placés à l'intérieur suivant deux de ses génératrices, et des bandages disposés au dehors suivant des sections droites. Les rails se trouvent en face d'une voie d'amenée, un wagonnet entre dans le cylindre et y reste fixé par une manette. Puis on déplace transversalement le cylindre à l'aide de ses bandages, qui roulent sur des rails perpendiculaires à ceux de la voie d'amenée. Ils engrènent jusqu'à un certain point avec eux au moyen de saillies et de crans qu'on y a ménagés de distance en distance pour assurer la précision de la position du déversement. Après un roulement égal à une demi-circonférence, le wagonnet se trouve renversé et se vide dans la trémie placée au-dessous. On roule alors le cylindre dans le même sens, d'une seconde demi-circonférence, et le wagonnet est remmené par une voie de retour. Le verseur Marsaut a 2^{m},50 de long sur 1 mètre de diamètre. Il pèse, chargé, de 1.300 à 1.400 kilog. On peut du reste lui donner une longueur arbitraire, si au lieu d'un seul wagonnet on veut pouvoir en engager plusieurs. Cet appareil a l'avantage de supprimer l'axe des culbuteurs ordinaires et son graissage, ainsi que le choc. Il peut être traversé par le wagon de part en part, de manière à permettre, si les circonstances locales s'y prêtent, que la circulation se fasse toujours dans le même sens pour éviter la confusion. Enfin il donne le moyen, avec un nombre moindre d'organes, de charger une trémie dans toute sa longueur, quelque grande qu'elle soit.

Parfois, au lieu d'un culbutage sens dessus dessous, on emploie un basculement latéral du wagon jusqu'à une certaine inclinaison, au moyen d'un appareil hydraulique, comme aux mines de Molières, de Bruay, de Nœux. A ce moment on déclanche la clavette de la paroi, qui s'ouvre et laisse couler le chargement. On a construit également à Graissessac un wagon de ce genre s'ouvrant

par les côtés. Le fond est formé de deux parties inclinées comme les pans d'un toit, et le charbon s'écoule sans qu'on ait besoin de soulever le véhicule. Aux mines de fer de Rochoule (Gard) on évite également ce soulèvement, mais d'une autre manière. Les deux moitiés du wagon sont assemblées à charnière suivant le petit axe du rectangle supérieur, et par une clavette suivant celui du fond. En ôtant cette clavette, on voit chaque moitié s'incliner sur son essieu autour de la charnière supérieure, de manière à former un V renversé. La pente que prennent ainsi les deux moitiés du fond suffit pour faire couler la charge entre elles.

Sur plusieurs carreaux de mines on a développé démesurément les trémies de chargement, de manière à emmagasiner une quantité énorme de charbon. On se trouve ainsi en mesure de charger d'un seul coup tout un train du chemin de fer à grande section. A l'Alma (bassin de la Rhur), on voit des trémies de 60 mètres de long et d'une hauteur double et même triple de celle des wagons (1).

Chevalement. — Les chevalements peuvent être construits de trois manières différentes : en bois, en fer ou en maçonnerie. Ce sont les chevalements métalliques qui ont le plus attiré l'attention dans ces derniers temps. A Carmaux, au Grand-Treuil et à la Pompe (houillères de Saint-Étienne), les montants sont façonnés et rivés comme des bouilleurs (2). A la Malafolie (Firminy), on a composé la section droite de quatre arcs à cornières, de manière à garder à l'extérieur tous les boulons. L'un des chevalements d'Ahun est construit en rails Barlow assemblés bord contre bord (3), et l'autre en fers Zorès. Deux fers Zorès tronqués sont assemblés par leurs bases avec interposition d'une plaque de tôle faisant âme. Ces fers ont encore été employés pour les chevalements de Saint-Louis (houillères de Saint-Étienne) et du Vigan. La Société de Fives-Lille a employé des poutres rectangulaires creuses en tôle pour des chevalements de Lens et de Courrières (4).

(1) Chansselle, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, page 848.

(2) Imbert, *Compte rendu mensuel*, avril 1876, page 10; Monin, *Ibidem*, juillet 1876, page 3.

(3) Robert, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome II, page 295.

(4) J'indiquerai ici le poids et le prix de quelques-uns de ces ouvrages :

Le Vigan (puits de recherche). . . .	4.800 kilog.	2.900 francs.
Ahun (rails Barlow)	15.500 —	7.750 —
Ahun (fers Zorès).	16.000 —	7.800 —
Carmaux	21.000 —	12.600 —
Lalle (puits Terret, 15 mètres). . .	25.500 —	15.300 —

A Graf-Beust et à la mine Hugo (Westphalie), ainsi qu'à Grand-Mambourg-Sablonnière (Liége), on a employé le *chevalement-grue* (1). Sa forme est à peu près celle d'un balancier de machine à vapeur, c'est-à-dire une ellipse très-allongée et formée de deux flasques en treillis entretoisées ensemble. Il repose sur le sol par un point voisin d'un des sommets de l'ellipse, de manière à disposer son diamètre à peu près suivant la bissectrice des deux brins du câble qui passe sur les molettes portées par l'extrémité supérieure. De forts haubans, amarrés en arrière sous un angle convenable, retiennent cette extrémité pour lui assurer l'inclinaison voulue. Ce chevalement dessert, sans trop de vibrations, une extraction de 900 tonnes par jour.

Le chevalement disparaît tout naturellement dans les installations intérieures. Il existe un certain nombre d'exemples de ce genre d'extraction. Les matières sont élevées non plus jusqu'au point d'intersection de la verticale du puits avec la surface du sol, mais seulement jusqu'à un point intermédiaire d'où elles sortent au jour en galerie. On peut citer sous ce rapport la belle installation du puits central de Portes, desservie par la galerie Werbrouck.

Si la profondeur rachetée est peu considérable, on peut, pour plus de simplicité, laisser la machine au jour, et elle présente alors cette particularité que le chevalement est encore supprimé, les molettes se trouvant au ras du sol au niveau des bobines. La distance de la recette au jour est toujours, en effet, plus que suffisante pour les manœuvres, et le danger d'envoi aux molettes, et elle forme l'équivalent du chevalement du dispositif ordinaire. Ce système se voit, par exemple, au puits de la Forêt (Grand'Combe).

On peut encore signaler dans cet ordre d'idées, mais cette fois avec un chevalement, une combinaison assez singulière qui a été employée, à la mine de Heg, près Grund (Hartz). Qu'on se représente pour cela, en un point que j'appellerai A, le fond du puits. Il débouche au jour en B sur la montagne. D'autre part, une galerie part du fond de la vallée en C et rejoint le puits en D. Il suffirait, d'après cela, d'extraire sur la hauteur AD et d'effectuer ensuite un roulage DC jusqu'au point C où se trouvent par le fait les usines. Mais il y existe une station balnéaire d'où les étrangers seraient promptement chassés par les vapeurs du grillage des pyrites. Aussi les aires de grillage ont-elles été installées en B sur le car-

(1) Chansselle et de Loriol, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, page 824; *Compte rendu mensuel*, juin 1876, page 29.

reau du puits. On extrait donc le minerai à la manière ordinaire sur toute la hauteur AB; on le grille en B; puis on le redescend à charge le long de BD et on roule au jour les matières grillées jusqu'à la fonderie dans la galerie DC. Cette opération compliquée a été, en raison des conditions locales, jugée plus avantageuse que l'emploi de plans automoteurs extérieurs sur les déclivités du sol de B en C.

Signaux. — Les signaux à la voix ou avec des timbres manœuvrées à l'aide de gros leviers et d'un petit câble, sont encore les plus répandus. Ils ont, en effet, l'avantage de pouvoir être donnés en tout point de la hauteur et non pas seulement aux recettes. On en a d'ailleurs employé de plus compliqués. Je citerai par exemple les tubes acoustiques, à la Baume (Villefranche-d'Aveyron), mais ils ne peuvent convenablement dépasser 200 mètres; les sonneries électriques (Anzin, Decize, le Hasard, etc.). Le télégraphe hydraulique de M. Harzé consiste en une colonne liquide qui met en rapport deux pistons dont l'un reproduit les mouvements de l'autre en raison de l'incompressibilité de l'eau. Un télégraphe pneumatique analogue a été employé en Angleterre. L'air y remplace l'eau. On sait, du reste, quelle est l'extrême délicatesse de ce véhicule qui forme la base des appareils physiologiques enregistreurs de M. Marey. Parfois aussi on l'emploie uniquement comme sifflet d'avertissement.

Le téléphone ne pouvait manquer d'attirer l'attention sous ce rapport, dès son apparition. On l'a essayé à Saint-Austell (Angleterre). La société des houillères de Saint-Étienne l'a employé pour relier le bureau central à ceux du Treuil, de Méons et du Pont-de-l'Ane (1). M. Delahaye a proposé (2) d'en installer dans les mines pour faciliter les sauvetages, en mettant l'extérieur en communication avec les hommes bloqués par un coup d'eau, un éboulement, etc. Cette mesure ne saurait évidemment être généralisée, mais elle pourrait rendre des services dans les cas où des points de refuge spéciaux sont désignés à l'avance aux ouvriers en cas d'accident.

On a dans ces derniers temps insisté sur les ***signaux parlants automoteurs***, c'est-à-dire les appareils qui mettent sous les yeux du mécanicien une réduction à petite échelle du mouvement des cages dans les puits. L'indicateur Levellins et James, exposé par les

(1) Villiers, *Compte rendu mensuel*, juin 1878, page 134.
(2) *Les mondes*, tome XLII, page 683.

ateliers Crozet-Fourneyron, est organisé comme une pendule. La petite aiguille décrit un tour ou du moins un grand arc pour l'excursion totale et joue ainsi le même rôle que les appareils rectilignes ordinaires. Mais, en outre, une seconde aiguille, faisant autant de tours que l'arbre des bobines, permet au mécanicien une précision beaucoup plus grande dans ses appréciations.

A Mariemont, on représente sur le flanc de la boîte à vapeur un spécimen de la glace de distribution et du mouvement des tiroirs, ce qui permet constamment de se rendre un compte parfaitement exact de ce que l'on obtient par la manœuvre des leviers de distribution.

Moteurs d'extraction. — Je viens de passer en revue les principales parties de l'appareil qui sert à effectuer l'extraction. Il reste, comme seconde partie de la question, à considérer de même le moteur qui le met en action. Mais je remettrai tout ce qui se rapporte à cet ordre d'idées au moment où je m'occuperai, plus loin, des machines à vapeur d'une manière générale.

Je citerai seulement ici le frein à vapeur de MM. Crozet et Clamens, qui renferme un utile perfectionnement. Au lieu de le maintenir serré par la seule action de la vapeur, quand on pense que l'arrêt doit avoir quelque durée, on abaisse, à l'aide d'une vis qui se trouve à la portée de la main du mécanicien, un bouton engagé dans une rainure rectiligne de la tige du piston du frein. Dès lors celui-ci ne peut plus, sous aucun prétexte, quitter sa position avant qu'on ait remonté le bouton.

Je signalerai ici une tendance marquée à l'augmentation de la puissance des appareils d'extraction. Dans une juste mesure, cette pensée est rationnelle et bien en rapport avec le développement des tractions mécaniques. Cependant, il est permis de se demander si l'on n'est pas sur le point de tomber à cet égard dans l'exagération. Les doubles services d'extraction installés sur certains puits en augmentent démesurément les dimensions. Avec un service unique trop surmené on arrive à des vitesses vertigineuses qui ne sont pas sans danger. Enfin, la concentration poussée trop loin sur un petit nombre de puits d'un grand tonnage augmente l'influence des chômages occasionnés par les moindres accidents survenus, soit dans l'extraction verticale, soit dans les tractions mécaniques qui l'alimentent.

Dans le bassin de la Ruhr, le puits de l'Alma, à Gelsenkirchen, extrait 1.200 tonnes par jour. Le puits Prosper de la même région est arrivé au même chiffre et a atteint momentanément 1.600. Il

a 345 mètres de profondeur, la manœuvre dure 55 secondes et l'ensemble du trait 16 heures. A Lens, on a réalisé ce chiffre de 1.600 tonnes, tout compris. A Newcastle et dans le Sunderland, on aurait même, paraît-il, atteint le total exorbitant de 1.750 tonnes.

Extractions secondaires. — Indépendamment de la grande extraction, on opère souvent dans les mines des transports verticaux sur une faible hauteur. Les anciens treuils à bras ont été beaucoup perfectionnés. Certains puits possèdent des treuils à vapeur spécialement destinés à opérer le sauvetage des cages suspendues sur le parachute. MM. Muller et Roux, ainsi que les usines de Marcinelle et Couillet, en ont répandu des types dans lesquels on a placé sur un même châssis roulant le treuil et sa chaudière. La vapeur est également employée dans le monte-charges Chrétien (1), qui rend d'utiles services dans certains ateliers de préparation mécanique. A Bully-Grenay, on se sert, dans le fond, de treuils à air comprimé, très-bien combinés, dont un modèle figurait à l'Exposition universelle. Deux cylindres à 45° à détente variable reçoivent l'air au moyen d'une seule came, de manière à pouvoir marcher dans les deux sens (2). MM. Sauter et Lemonnier ont également fait figurer à l'Exposition un modèle de treuil à air comprimé, muni du frein Mégy qui s'engage de lui-même au delà d'une certaine allure.

Je signalerai ici un *monte-bois* établi au jour à Carmaux. Deux paires de poulies tournent de conserve sur deux axes horizontaux placés l'un en haut, l'autre en bas. Deux chaînes sans fin vont de l'un à l'autre et portent des crochets sur lesquels on installe les bois, qui montent ainsi à peu près comme l'eau dans les godets d'une noria.

A côté des monte-charges il faut citer les *descend-charges*. Les balances sèches sont connues de tout temps. On sait que leur principe se résume à disposer verticalement dans un bure le mécanisme ordinaire des plans inclinés automoteurs. A la Grand'-Combe, au lieu du frein ordinaire, M. Graffin a introduit un robinet d'étranglement du mouvement de l'eau dans un circuit fermé. Parfois on a employé la contre-vapeur à détruire l'accélération produite par la descente verticale des remblais, comme on

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, p. 623.
(2) *Compagnie des houillères de Béthune*, exposition universelle, Pl. V, 1878, Paris. In-4°.

le fait dans les locomotives pour la descente du train sur les déclivités des chaînes de montagne.

Quelquefois les balances sèches jouent seulement un rôle accidentel sur quelques points de l'intérieur. Dans certains cas, qui ne constituent pas des modèles à imiter, on en a introduit un emploi systématique qui faisait partie intégrante de la méthode d'exploitation. Dans une houillère de Zwickau, on divisait une couche épaisse en deux tranches inclinées prises avec foudroyage du toit. Les plans inclinés étaient établis de suite sur le mur, et on y descendait les matières de la tranche supérieure par des bures, en négligeant ainsi la facilité que présente cette méthode pour passer horizontalement d'une tranche à l'autre. A Plauen, on disposait perpendiculairement à la costresse de fond des travers-bancs à la projection des montages, et des bures y descendaient les matières des diverses galeries de sous-étages. C'était un énorme traçage que l'on n'a pas tardé à abandonner.

Un emploi bien plus rationnel des balances sèches consiste, à faire à deux niveaux à la fois la manœuvre des cages à deux étages, et à descendre ensuite dans la balance les charbons supérieurs sur le plan général du carreau. Il y a à cela l'avantage de supprimer la manœuvre du mécanicien, qui prend du temps, occupe son attention, et, se faisant en pleine pression, perd beaucoup de vapeur, tandis qu'on se préoccupe précisément de l'économie par l'emploi de la détente en marche, malgré les inconvéniens qu'elle entraîne.

On y a aussi recours comme descenderies de remblai. Je signalerai sous ce rapport une disposition très-ingénieuse, installée par M. Sévin à Carmaux. On y emploie un treuil à deux rayons pour monter les wagons vides plus haut que le point d'où viennent les wagons pleins, comme dans les plans bisautomoteurs.

Le descend-charges hydrostatique de M. Graffin à la Grand'Combe mérite aussi une mention particulière. Le plateau destiné à recevoir le wagon plein qu'il s'agit de descendre repose sur un cylindre creux qui flotte par lui-même sur l'eau d'une cuve, mais s'y enfonce sous ce poids additionnel. La descente est d'abord rapide, ce qui a l'avantage de gagner du temps, mais elle s'amortit d'elle-même pour opérer l'arrivée sans choc. En effet, l'immersion d'un volume de plus en plus grand ralentit le mouvement et, l'arrêterait même bientôt tout à fait, si l'on n'avait ménagé une série de trous dans la zone ainsi immergée. Ces trous constituent autant de voies d'eau par lesquelles le liquide s'introduit dans la colonne et la fait couler à fond comme un navire en perdition, mais lentement et

au fur et à mesure du débit que permettent ces orifices. A ce moment, la colonne étant fixée par un clichage, on retire le wagon plein et on le remplace par un wagon vide, dont le poids n'est plus capable de maintenir le système en équilibre. Il remonte donc quand on a retiré les taquets, et d'abord avec vitesse. Mais bientôt la diminution du déplacement d'eau ralentit ce mouvement, et l'arrêterait encore si la partie émergée ne laissait écouler par ses trous l'eau qu'elle renferme. Le flotteur s'allége ainsi progressivement et achève doucement sa course.

Extraction pneumatique. — L'un des événements les plus remarqués de ces dernières années dans l'industrie des mines, a été l'installation de l'extraction par le vide, due à l'habile directeur des houillères d'Épinac, M. Zulma Blanchet (1). Un modèle à échelle réduite avait déjà figuré à l'Exposition de Lyon, et chacun a pu voir l'année dernière au Champ-de-Mars un tronçon en vraie grandeur de la colonne de tubes. Celle-ci a au puits Hottinguer 603m,30 de hauteur, 1m,60 de diamètre et 7 à 8 millimètres d'épaisseur de tôle, avec une surépaisseur pour les parties d'une importance spéciale. Tout l'ensemble pèse 342 tonnes. Le vide y est produit par une machine pneumatique à vapeur qui n'est actuellement que provisoire, mais qui avalera dans son état définitif 12 mètres cubes d'air par seconde, en enlevant le train avec une vitesse de 6 mètres. Celui-ci est composé de deux pistons et d'une cage qui reçoit neuf chariots. L'installation actuelle, qui ne comprend qu'un seul tube sera complétée par un second pour obtenir le double effet dans l'extraction et l'équilibre entre les poids morts. L'air en quittant le tube est rejeté dans l'atmosphère, s'il vient de la mine, ou renvoyé dans les travaux s'il a été pris à l'extérieur. C'est pour ce motif que M. Blanchet a préféré l'emploi du vide à celui de la compression, qui aurait échauffé l'air injecté dans la mine. Il attend aussi de sa puissante machine pneumatique de 1.000 chevaux

(1) Blanchet, *Annales des mines*, 7e série, tome XIV.

Bulletin de la Société de l'industrie minérale, 2e série, tomes IV, page 557, et VII, page 273.

Compte rendu mensuel, janvier 1877, page 20.

Écho industriel, 15 août 1878.

Moniteur industriel, 10 septembre 1878.

L'exploitation de la houille aux grandes profondeurs. 1872, Autun, chez Dejussieu.

Suppression des câbles et du grisou et extraction à toute profondeur. 1878, Paris, chez Chaix.

Worms de Romilly, *Annales des mines*, 7e série, tome V, page 195.

nominaux, construite à la Challéassière, un moyen d'arrachage du grisou des espaces perdus dans les remblais ou même des pores de la houille, mais ce n'est pas le lieu de traiter en ce moment cette question. L'arrivée aux recettes est réglée avec précision par les receveurs, au moyen de robinets reportant les pressions d'un côté à l'autre de la cage à piston. Il y a peu de temps, une députation de la Société de l'industrie minérale a assisté au fonctionnement du système avec la machine provisoire. Déjà les ouvriers se servent du tube pour descendre et remonter.

Parmi les appareils d'extraction fondés sur un principe spécial, je citerai encore la chaîne sans fin exposée au Champ de Mars par M. Houdaille (1), et supportant de distance en distance des wagons pleins ou vides, à peu près comme la chaîne flottante en entraîne dans le sens horizontal ou sur des rampes. Ce principe, repris également par M. Jeanson (2), avait été déjà appliqué, du reste, en 1817, à Charleroi, et en 1850 par M. Sadin, au couchant de Mons. Il a l'avantage d'être équilibré, de pouvoir servir comme transmission de force, de ne pas supporter comme le câble son propre poids, qui est ici soutenu de distance en distance. Mais on doit redouter des oscillations, des ruptures de dents ou de boulons, de grands frottements, une extrême complication entraînant des avaries et des chômages, comme dans les divers appareils oscillants Bource, Ehrenger, Guibal, Mehu, Schultz, qui n'ont pas tardé à disparaître de la pratique.

§ VIII. — Épuisement.

Serrements et plates-cuves.— Les travaux de défense contre les eaux comptent parmi les plus essentiels de l'art des mines. La plate-cuve portante établie en 1875 par MM. Wender et Chastelain à Varangéville, à la suite de l'effondrement de la mine de sel de Saint-Nicolas, mérite une mention spéciale, en raison des difficultés particulières que présentait son établissement dans une roche en partie soluble. L'ouvrage devait atteindre des dimensions considérables, environ 25 mètres carrés, et pouvoir résister à une pression de 10 atmosphères. Le bois, la brique, la pierre de taille, ne présentaient pas une sécurité suffisante ; la fonte seule pouvait convenir. Le sel gemme de la sixième couche fut jugé

(1) *Écho des mines*, 1877, page 325.

(2) *Annuaire des mines et de la métallurgie françaises*, page VIII, 1878-1879, chez Dunod.

seul capable de fournir des naissances d'une solidité acceptable. La section du puits fut élargie en forme de cône renversé. Sur un massif de remblai reposant au fond du puits, on établit dans cet espace tronc-conique un lit de béton de scories destiné à porter les cintres nécessaires pour la pose de la plate-cuve. Celle-ci a la forme d'un rectangle de 4^m,45 sur 5^m,60, formé de 35 voussoirs répartis en 5 bandes de 7 chacune. Les 2 bandes centrales rectangulaires sont formés de *clefs*, et leur point de croisement d'une *clef principale*, soit en tout, outre cette clef principale, 10 clefs ordinaires et 24 voussoirs proprement dits. Quatre feuilles de caoutchouc vulcanisé de 0^m,0025, avec des toiles interposées, formèrent les joints entre les quatre faces de l'ouvrage, et les naissances refouillées dans le sel gemme. Entre les divers voussoirs on se contenta d'une mince couche de mastic Serbat délayé dans l'huile de lin. En outre, on eut soin de mater des lames de cuivre jusqu'à refus dans des rainures de 20 millimètres sur 5, ménagées à la partie supérieure de tous les joints métalliques. La principale difficulté était d'empêcher les naissances d'être corrodées par les eaux supportées par l'ouvrage. Il était donc nécessaire de les éloigner de la plate-cuve. A cet effet, on disposa d'abord une couche de 0^m,65 d'épaisseur d'un béton formé de deux parties de ciment de Vassy, une de sable fin lavé et une de petits cailloux de la grosseur d'une noisette. Au-dessus se trouvaient un massif d'argile corroyée de 10 mètres de hauteur, et enfin une masse de sel destinée à saturer complétement une certaine quantité d'eau que sa densité retiendra indéfiniment sur ce point. Si donc des suintements venaient à se produire, malgré toutes ces précautions, jusqu'à la plate-cuve, ils seraient impuissants à en dissoudre les parois.

Je citerai encore les serrements métalliques que l'on prépare à Pontpéan, en prévision des venues d'eau inattendues. On dévie dans le mur la galerie d'allongement pratiquée dans le filon afin d'y trouver des roches plus solides. On y scelle un cadre en fonte qui présente un évidement égal à la section de la galerie. Une porte métallique est assemblée à charnière sur le côté horizontal supérieur du vide rectangulaire. Elle est relevée et maintenue par des appuis provisoires contre le plafond, du côté d'où l'on attend les eaux. On n'a, au moment voulu, qu'à enlever ces appuis: la porte tombe. Des échancrures ont été ménagées dans le cadre pour les rails, des boulons y sont fixés d'avance, et leurs logements sont préparés. Il suffit de les serrer par derrière et de calfater tous les joints, pour obtenir une défense au moins provisoire.

On a également préparé à Pontpéan des serrements ordinaires

en charpente. Les attentes sont dressées d'avance. Toutes les pièces sont prêtes et placées à pied d'œuvre, de manière qu'on n'ait, le cas échéant, qu'à les prendre sans aucun transport, et à monter l'ouvrage aussi vite que possible.

Mines sous-marines. — C'est ici le lieu de parler des travaux qui sont pratiqués sous la mer (1). Je rappelle d'abord l'existence de quelques mines sous-marines déjà anciennes. A la côte du Cumberland, la mine de Huelcock, située dans la paroisse de Saint-Just, s'avance sous la mer à 150 mètres du rivage. L'épaisseur de la couronne se trouve parfois, dans les parties riches, réduite, par une extrême imprudence, à $1^m,20$, et l'on entend nettement le roulement des galets remués par la houle. Les mineurs y sont parfois obligés de se défendre contre les infiltrations en calfatant les fissures de la roche comme ils le feraient des flancs d'un navire. Cependant on n'y est véritablement gêné que par des venues d'eau douce. Les conditions sont à peu près les mêmes à la mine de plomb de Perran-Zabuloc. A la côte de Cornouailles, la mine de Botallach s'avance à 640 mètres au large; celle du Levant encore plus loin. A Whitehaven, les galeries s'éloignent à une distance de la côte qui, mesurée en ligne droite, atteint 3.600 mètres.

On a rencontré sous les eaux de la baie de Restronguet, près Truro (Angleterre), un dépôt d'étain d'alluvion (2). On l'avait suivi d'abord en refoulant la mer derrière de grandes digues, qui ont été rompues en 1800 par une tempête, et dont on voit encore les traces. L'exploitation vient d'être reprise en 1871. Un puits de $23^m,40$ de profondeur et $1^m,80$ de diamètre a été, pour l'aérage, foncé en pleine mer, au milieu même de la baie, protégé par un solide bâtardeau. Le cuvelage en fonte a été enfoncé à la trousse coupante à l'aide de charges atteignant 250 tonnes. On les amenait à la mer haute dans des barques amarrées sur le cuvelage, de manière à peser sur lui à la marée basse. La nature vaseuse du terrain et le peu d'épaisseur de la couronne oblige à boiser très-solidement les galeries de service. On laisse au moins 9 mètres d'épaisseur, et l'on arrive de cette manière à pouvoir exploiter par éboulement, quelque paradoxal que cela puisse paraître *à priori* dans de telles circonstances. On s'avance à contre-pente à

(1) Bergeron : *Association française pour l'avancement des sciences.* Congrès de Lyon, 1874, page 162.
(2) Taylor, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, t. II, p. 310. Crozat, *Compte rendu mensuel*, août 1876, page 12.

partir d'un autre puits de 33 mètres, foncé sur le rivage, mais au-dessous de la ligne des hautes eaux; il sert à l'épuisement des infiltrations. Les deux puits sont distants l'un de l'autre de 200 mètres, mais les travaux s'étendent à une distance plus que double.

Galeries d'écoulement. — Plusieurs ouvrages de ce genre extrêmement remarquables ont été exécutés dans ces derniers temps. On vient de terminer, à Selmeczbanya (Schemnitz), la galerie Joseph II, longue de 14 kilomètres.

Au Hartz, on a fini, en 1864, la galerie Ernest-Auguste, à la profondeur de 408 mètres, sur une longueur de 23.638 mètres, avec une section de 1m,75 de largeur et 2m,60 de hauteur et une pente d'un demi-millimètre. C'est la cinquième de ce massif. On trouve, à partir de la surface : à 78 mètres, la galerie Frankenscharmer, de 8.864 mètres ; à 120 mètres, la galerie Wildmann supérieure, de 9.168 mètres ; à 146 mètres, la galerie Wildmann inférieure, de 9.260 mètres ; à 298 mètres, la galerie Georges, de 19.000 mètres.

A Freyberg, on a exécuté, de 1843 à 1876, l'énorme galerie d'écoulement Rothschönberger, de 47.504 mètres, avec une largeur de 1m,50, une hauteur de 3 mètres et une pente d'un demi-millimètre.

Il est en ce moment question de relier à la Méditerranée, près de Marseille, le bassin de lignite de Fuveau, au moyen d'une galerie d'écoulement de 14.400 mètres (1).

Parmi les ouvrages à grande section, j'ai déjà cité (page 65) le tunnel Sutro, destiné à servir de galerie d'écoulement, en même temps que de roulage et d'aérage pour le filon du Comstock.

Un admirable travail de ce genre, entrepris par le prince Torlonia, avec la direction successive des ingénieurs français de Montricher, Bermont et Brisse, vient d'être terminé récemment pour opérer le desséchement du lac Fucino, dans les Abruzzes (province d'Aquila) (2). La même tentative avait été faite il y a dix-huit siècles par l'empereur Claude, sous la direction de son affranchi Narcisse. Une galerie de 5.700 mètres de longueur, sur une section de 10 mètres carrés, fut percée à cette époque à l'aide de quarante puits, dont quelques-uns atteignaient 120 mètres de profondeur. On obtint ainsi un desséchement partiel ; mais un éboule-

(1) Dieulafait, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXVIII, page 351.

(2) Durand Claye, *Bulletin de l'association scientifique de France*, n° 526, page 133.

ment vint y mettre un terme, et l'opération ne fut plus reprise que de nos jours. En 1851, on commença un nouveau tunnel de 6.301 mètres de longueur, 4 mètres de largeur, 5^m,76 de hauteur et 1 millimètre de pente. Il est revêtu en pierres de taille sur plus de la moitié de son développement. Le débit a été de 50 mètres cubes par seconde. On est arrivé ainsi à rendre à l'agriculture 15.775 hectares avec une dépense de 43.137.209 francs. On a en outre assaini une contrée jusque-là décimée par les fièvres paludéennes, en raison du régime très irrégulier des eaux du lac.

Régénérateur Bockholtz. — Dans les machines d'épuisement, il y a lieu de distinguer l'appareil d'exhaure et le moteur qui l'actionne. Comme je l'ai déjà fait pour l'extraction, je remettrai l'étude des moteurs d'épuisement au moment où je m'occuperai des machines à vapeur en général, et je n'envisagerai en ce moment que l'appareil élévatoire proprement dit.

M. Bockholtz, inspecteur général des mines et usines de la compagnie autrichienne des chemins de fer de l'État, y a introduit un organe nouveau qu'il a appelé *régénérateur de force*, et sur le compte duquel se sont engagées certaines discussions (1). Comme un clapet doit nécessairement avoir une certaine surface d'appui sur son siége, la pression supérieure s'exerce sur une étendue plus grande que la sous-pression ; la différence correspondant à la projection horizontale de cette surface de contact. Il convient de dire que, dans ces dernières années, les efforts des constructeurs ont tendu à diminuer de plus en plus cette dernière, ce qui restreint d'autant l'utilité du système en question. Cependant cette surface subsiste en principe, et l'on ne saurait la réduire au delà de

(1) Bockholtz : *Le régénérateur de force*, 1869. Valenciennes, chez Poriquet.
Bockholtz : Note supplémentaire sur le régénérateur de force (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXI, page 389).
Bockholtz : Observations rectificatives, etc. (*Ibidem*, tome XXII, page 232).
Bockholtz : Réplique, etc. (*Ibidem*, 1873).
Bockholtz : *Le régénérateur*, etc. Vienne, 1873.
Leseure : Sur le régénérateur de force (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, tome XIV, page 387).
Leseure : Note sur le mémoire, etc. (*Ibidem*, 2e série, tome II, page 133).
Pernolet : Notes et expériences sur la première application du régénérateur de force Bockholtz (*Ibidem*, 2e série, tome I, page 601).
Pernolet : Mémoire sur une application du système Bockholtz (*Annales des mines*, 7e série, tomes I, page 342, et IV, page 8).
Articles divers dans la *Revue universelle des mines et des usines* (tomes XXIII-XXIV, page 185 ; XXV-XXVI, page 258 ; XXXI, page 389 ; XXXII-XXXIII, page 233).

certaines limites, sous peine de fatiguer outre mesure les portées métalliques. D'après cela il faut, pour soulever le clapet, employer un excédant de force motrice pendant un temps d'ailleurs extrêmement court. Au delà cette différence devient de suite inutile, attendu que dès que le moindre soulèvement a été effectué, le corps se trouve complétement immergé dans toutes ses parties. Mais, d'un autre côté, cette force ne saurait être anéantie quand on la réalise simplement par une surabondance du poids de la maîtresse-tige, atteignant une fraction sensible de ce qui serait rigoureusement nécessaire pour vaincre la force d'inertie et créer la vitesse utile. Il s'ensuivrait donc des accélérations fatales, si l'on n'usait pas de résistances spéciales dans le fonctionnement de la vapeur pour détruire la force vive qui tend à prendre naissance. Toutefois on ne recueille ainsi qu'une faible partie de ce travail par la compression de la vapeur sous le piston, à la fin de la descente des tiges, et le reste est perdu. De là une dépense supplémentaire que M. Bockholtz évalue à 20 p. 100 dans certaines machines.

Il a proposé pour y remédier deux systèmes : l'un pneumatique, dont il est inutile de parler ; l'autre formé d'un simple contrepoids. Ce dernier est placé à l'extrémité d'un bras élevé perpendiculairement au balancier en son point de rotation et en dessous. Quand le balancier passe de sa position supérieure, que je désignerai par OA, à la position moyenne horizontale OB et à la position inférieure OC symétrique de la première, il décrit par son extrémité un arc de cercle ABC qui a sa tangente *verticale* en B. En même temps, le poids décrit un autre arc *abc* qui a sa tangente *horizontale* en *b*. Il se trouve au premier instant à son point le plus haut en *a* et avec la plus grande inclinaison de l'arc *abc*. Cette inclinaison devient de suite inappréciable pour se rapprocher de l'horizontale. On a donc, au premier instant, un effort descendant auxiliaire, immédiatement éteint. Puis, vers la fin de l'oscillation pour remonter de *b* en *c*, on retrouve des inclinaisons peu sensibles d'abord et un effort résistant qui aide à anéantir la force vive générale. Du reste, le travail du contre-poids est nul dans son ensemble, puisque le point *c* est situé sur le même niveau que *a*. L'effet voulu est donc ainsi réalisé sans aucune dépense.

On lui doit en outre une seconde influence favorable, puisque l'on a, par rapport aux pompes ordinaires, un coup de collier moteur dans les premiers instants, et un coup de collier résistant vers la fin ; la machine se trouve lancée plus vite, et cependant on en peut commencer plus tard le ralentissement. En somme

donc, on obtient une allure moyenne plus vive, et le temps de l'oscillation se trouve diminué. On peut ainsi, sans s'exposer aux inconvénients qui résultent pour une machine ordinaire d'une marche trop rapide, donner un plus grand nombre de coups par minute et, par suite, employer pour faire le même service d'épuisement un moteur moins volumineux et plus avantageux par cela seul.

Un grand nombre de ces appareils ont été établis par les ateliers de Quillacq. MM. Bockholtz et Riedrich ont fait sur ceux de Kladno des expériences qui ont montré que le rapport du contrepoids régénérateur au poids de la colonne d'eau, pour donner le résultat le plus avantageux (qui se mesure alors par 17 p. 100 d'économie), doit être théoriquement égal à 0,19, mais s'abaisse pratiquement à 0,09. M. Hraback, professeur d'exploitation des mines à l'école de Przibram, a indiqué de son côté 0,12 à 0,15 pour la valeur de ce rapport.

M. Rossigneux a introduit une disposition nouvelle pour le contrepoids d'équilibre, et il lui a consacré une étude intéressante (1). Elle consiste, au lieu d'assujettir cet organe à tourner sur un axe, à le faire rouler sur un plan fixe sous la forme d'un cylindre. On peut alors choisir la directrice de ce cylindre de manière à faire varier les bras de levier suivant la loi la plus convenable et non plus suivant celle de la rotation, qui est entièrement déterminée *à priori* dans tous ses effets. Ce système a été appliqué à Charleroi.

Pompe Tangye. — On emploie assez souvent ces engins, d'un faible volume, faciles à déplacer, d'un maniement et d'un entretien assez simples (2). Le rendement en volume d'eau est énorme, et s'est élevé, à Portes, au chiffre de 0,97. En revanche, la consommation de combustible est très-considérable, car on marche sans détente. Elle était dans cette même mine d'environ 12 kilog. par cheval et par heure, mais à la vérité d'un combustible de rebut vaporisant seulement $2^k,75$ d'eau. Le prix du million de kilogrammètres n'était pour cette raison que de $0^f,687$, y compris l'amortissement.

On emploie dans cette pompe de forts ressorts à boudin pour précipiter la chute des soupapes, et une garniture en corde de chanvre suifée pour le piston hydraulique. Le piston à vapeur est

---

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VII, p. 407. *Compte rendu mensuel*, juin 1876, page 35.

(2) Gudin du Pavillon, *Compte rendu mensuel*, 1877, mars, p. 1, et mai, p. 4.

monté sur la même tige. L'eau passe à travers un récipient qui joue le rôle de condenseur et se maintient à une température de 40 degrés et à une pression d'une demi-atmosphère environ. Elle en est extraite par un éjecteur Cherry. La distribution de vapeur est fort ingénieuse, mais ne saurait être décrite ici.

Pompes rotatives. — Les pompes à force centrifuge rendent des services par leur grande simplicité. Elles peuvent servir pour des eaux sableuses, en raison de l'absence de piston et de garnitures. Mais elles ne conviennent que pour des hauteurs très-limitées, tant d'aspiration que de refoulement. En outre, la vitesse considérable qu'il est nécessaire de leur imprimer devient parfois une gêne.

On peut citer dans cette catégorie l'appareil Neut et Dumont. La pompe Édoux est double, et l'une de ses turbines agit sur l'eau déjà élevée par l'autre. C'est donc un système à répétition qui élargit le champ d'application de ce genre d'élévateurs (1). La pompe Nagel et Kaemp est munie d'un amorceur à vapeur destiné à éviter les difficultés que présente la mise en train de ces machines (2).

Pompes à impulsion de vapeur, pulsomètre. — On désigne sous le nom de pompes à impulsion de vapeur toute une classe d'engins dans lesquels les distributions cinématiques sont supprimées et remplacées par le contact direct, aux instants voulus, entre la vapeur et l'eau. On ne peut nier, d'une part, que la simplification qui résulte de la disparition d'un grand nombre d'organes plus ou moins compliqués ne soit un avantage sérieux pour des épuisements secondaires, mal situés, dans des cavités d'accès difficile et exposées à être noyées. D'un autre côté, il est bien évident que ces distributions seront plus capricieuses et moins certaines que celles qui résultent de connexions géométriques. En outre, le rendement sera nécessairement faible et la consommation de vapeur élevée, car ces appareils agissent sans détente et au contact de parois périodiquement refroidies par le contact de l'eau. Ils dépensent souvent trois fois et jusqu'à cinq fois plus de vapeur qu'une bonne pompe.

Le premier exemple de l'application de ce principe remonte à Manoury d'Ectot. On peut citer également le pulsateur Bretonnière (3), la pompe universelle de Hayward (4), la pompe Parker

(1) Tresca, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, t. II, p. 537.
(2) Habets, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXXV, p. 29.
(3) *Chronique industrielle de Casalonga*, 1878, page 263.
(4) *Engineering* 1875, 2e volume, page 45.

et Weston (1). Mais j'insisterai en particulier sur le pulsomètre de Hall, qui figurait à l'Exposition universelle (2).

Dans cet appareil, deux récipients en forme de poire sont réunis à la partie inférieure au tuyau d'aspiration d'eau et dans le haut à celui de l'arrivée de vapeur. Une sphère métallique, en se portant alternativement d'un côté à l'autre, permet l'admission de la vapeur dans un compartiment ou dans l'autre. Supposons, pour fixer le langage, qu'elle vient de fermer le second tandis que le premier se trouve plein d'eau. La vapeur refoule le liquide. Elle éprouve, bien entendu, une condensation, mais limitée en raison du peu de conductibilité de l'eau quand une couche superficielle a été échauffée. De plus, une certaine quantité d'air est aspirée à chaque coup et se loge sur la surface liquide, dont elle tend encore, dans une certaine mesure, à séparer la vapeur. Le niveau s'abaissant progressivement, la forme évasée du récipient augmente la section et diminue l'épaisseur du matelas d'air interposé. Quand il arrive à l'ouverture du tuyau de refoulement, cet air barbote et achève de s'échapper. Un contact plus complet s'établit entre l'eau et la vapeur qui se trouve condensée. Le vide ainsi produit ferme l'orifice du tube d'élévation, ouvre celui de l'aspiration et rappelle le boulet qui fermait le second récipient à son collet supérieur. La condensation s'achève dans le premier, l'eau y est aspirée, mais avant elle, un peu d'air qui forme tampon de choc au moment où l'eau arrive en haut et joue ensuite le rôle séparateur auquel j'ai fait allusion tout à l'heure. Cette condensation s'était effectuée, du reste, dans le second récipient pendant que le refoulement vient d'avoir lieu dans le premier, et quand le boulet d'admission est rappelé sur l'ouverture de celui-ci, la vapeur pénètre dans la seconde poire pour y faire naître un jeu semblable à celui qui vient d'être expliqué.

Cet appareil est très-commode; il n'exige comme installation qu'une simple chaîne de suspension, peut marcher noyé au besoin, et n'a qu'un petit nombre d'organes qui sont libres et incessamment lavés. La suppression des frais de graissage vient en dé-

---

(1) *Engineering* 1876, 2e volume, page 120.
(2) *Journal des mines*, 1878, page 67.
Brustlein, *Compte rendu mensuel*, février 1879, page 46.
Engineering 1876, 2e volume, page 56.
Chronique industrielle de Casalonga, 9 mars 1879.
Zeitschrift für Berg, Hütten und Salinenwesen, tome XXVI, page 376.
On the working of the Pulsometer pump (*Procedings of the Institution of civil Engineers*, tome LVI).

duction de l'excédant de dépense de vapeur. On indique comme les conditions les plus favorables de son application : 2m,60 à 3m,60, et au besoin 5 mètres pour l'aspiration ; 8 à 13 mètres et même 30 mètres pour le refoulement.

Élévateurs à ajutages. — C'est ici le lieu de mentionner les élévateurs à ajutages Friedmann (1), Kœrting, etc. L'action de la vapeur s'y exerce encore directement sur l'eau ; non plus, comme dans les cas précédent, d'une manière pour ainsi dire statique, mais suivant ce mode essentiellement dynamique et surtout thermodynamique qui caractérise les appareils à ajutages dérivés plus ou moins directement de l'injecteur Giffard.

Ces organes se recommandent encore par l'absence presque complète de pièces mobiles, leur faible volume, la facilité de leur installation, et surtout de leur transport à l'étage supérieur quand on se trouve gagné par les eaux. Seulement ils pèchent encore sous le rapport de la consommation de vapeur. Cet inconvénient disparaîtrait toutefois dans une industrie capable d'utiliser la température communiquée à l'eau élevée. Mais tel n'est pas le cas en ce qui concerne l'épuisement des mines.

Élévateurs à air comprimé. — M. Lisbet a disposé dans les mines de Liévin un appareil d'élévation par l'air comprimé. Le récipient ayant été rempli d'eau au moyen d'un orifice que je désignerai par A, pendant qu'une ouverture B laisse échapper l'air, ces deux clapets se referment. Un orifice C laisse alors arriver l'air comprimé sur la surface du liquide, qui se trouve refoulé dans le tube ascensionnel à travers une ouverture D dont le clapet était auparavant tenu appliqué sur son siége par le poids de la colonne. Quand le niveau s'abaisse dans le récipient au delà d'un certain point, C se referme. Bientôt B s'ouvre et l'air comprimé s'échappe ; D retombe par cela même et il ne reste plus qu'à introduire de nouveau de l'eau par l'orifice A.

M. Legat a présenté à l'Exposition universelle un appareil analogue. Il en existe également dans les mines de Kladno, d'Eschweiler, etc. Enfin, je citerai encore dans cet ordre d'idées la pompe hydropneumatique de M. Jarre (2).

---

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. I, pl. XVIII.

(2) Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome I, page 377.

Revue industrielle 1874, page 31.

Les mondes, tome XXX, page 66.

Pompe à impulsion hydraulique. — Dans la pompe Parson (1) l'action est purement hydraulique et n'emprunte rien à la vapeur ni à l'air comprimé. Imaginons des travaux situés au-dessus d'une galerie d'écoulement et pouvant ainsi fournir une colonne d'eau en charge. Il s'agit de l'utiliser pour élever jusqu'à la galerie les eaux d'une certaine zone de l'aval-pendage.

Le tuyau d'amenée de l'eau d'amont se recourbe en U en un point situé dans le bief inférieur et que j'appellerai A. Une branche verticale remonte de là jusqu'à la galerie en B. A ce point elle se termine par une petite turbine *b* qui fait corps avec le tuyau AB. Ce dernier est d'ailleurs susceptible de tourner sur son axe sous l'impulsion de la turbine *b* actionnée par l'eau motrice. Or le tube AB est cloisonné intérieurement par six plans méridiens. A sa base en A c'est un seul de ces six compartiments qui peut se trouver chaque instant devant l'orifice *a* du tube en U. Les cinq autres s'ouvrent simplement au contact du liquide du bief inférieur qu'il s'agit d'élever. L'eau motrice passe ainsi en A successivement dans chacun des six compartiments du tube tournant, mais celui d'entre eux qui vient dans un instant donné d'en recevoir l'impulsion, s'y dérobe immédiatement par la rotation, et le vide ainsi créé sollicite l'eau du bief au-dessus duquel il passe en déterminant son ascension. Cette force vive s'éteindrait du reste bientôt par l'action de la pesanteur, mais alors le compartiment est revenu au-dessus de l'orifice *a*, et il reçoit une nouvelle impulsion d'eau motrice qui y entretient le mouvement ascensionnel.

On ne peut se refuser à voir là un principe fort ingénieux, mais en même temps une action assez complexe pour qu'il soit sage de remettre à l'expérience seule l'appréciation décisive de la valeur de ce système.

Siphon. — Le siphon n'est pas à proprement parler un élévateur, puisqu'il ne peut que faire aboutir le liquide à un niveau plus bas. Il n'en rend pas moins d'utiles services pour le captage des eaux de mines et leur réunion sur un même point, inférieur au niveau des travaux en vallée d'où il s'agit de les faire sortir.

Je me bornerai à mentionner à titre d'exemple celui qui a été installé dans l'établissement balnéaire d'Uriage par M. de Saint-Ferréol (2). Dans le but d'augmenter le débit de la source en

(1) *Engineering* 13 août 1875, page 131.

(2) Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome III, page 277.

abaissant son point d'émergence, on a réavalé le puits pratiqué dans le calcaire noir à bélemnites, et pour éviter de le rejoindre par une nouvelle galerie, on a profité de celle qui existait déjà pour y établir un siphon. Seulement il est arrivé que la dépression qui se produit au point maximum du tube y dégageait des gaz qui désamorçaient à chaque instant le siphon. Un petit purgeur automatique a donc dû être installé sur ce point. Il se compose d'une sphère qu'un tiroir tournant met successivement en communication avec l'intérieur et avec l'atmosphère. Le mouvement alternatif de ce tiroir est provoqué par une roue à godets en porte-à-faux, qui revient par son propre poids dans la position d'équilibre, mais chavire périodiquement quand un filet d'eau, que l'on règle d'ailleurs à volonté à l'aide d'un robinet, a rempli les godets du côté opposé à celui où se trouve son centre de gravité.

Transmission hydraulique. — On se sert maintenant, dans les mines, de conduites d'air comprimé pour transmettre sur différents points de l'intérieur le travail d'une puissante machine, emmagasiné au jour dans un compresseur. Au point de vue du rendement théorique, on ne pourrait cependant voir là qu'une combinaison illogique, puisque les coefficients économiques du moteur principal, du compresseur et du moteur secondaire, se superposent pour réduire considérablement le travail recueilli. Mais en revanche, l'extrême souplesse de cet agent, qui se rend sans difficultés à toute distance et à travers les circuits les plus compliqués, lui font prendre tous les jours plus de développement.

On a appliqué moins souvent, mais cependant avec succès, le renvoi hydraulique à l'aide de l'eau sous pression. Il y a toutefois cette différence essentielle que l'air dépensé s'en va seul, et exerce même une influence utile, quoique peu importante, sur l'aérage et le rafraîchissement de la température. L'eau, au contraire, doit être extraite mécaniquement si tous les appareils ne se trouvent pas situés au-dessus d'une galerie d'écoulement. Sous ce rapport donc il y a encore là une combinaison peu logique au point de vue du rendement ; mais des avantages analogues à ceux dont j'ai parlé tout à l'heure peuvent rendre précieux dans certains quartiers de mines l'emploi de moteurs hydrauliques alimentés par de l'eau en charge, toujours facile à obtenir dans le fond, et extraite ensuite par un moteur à vapeur, dans le cas le plus défavorable, celui où elle n'a pas d'écoulement naturel.

Les conduites d'eau peuvent être également employées non plus comme moteur proprement dit, avec un tuyau unique à écou-

lement incessant, mais comme simple transmission de mouvement, semblable à une courroie sans fin, ne pouvant pas tirer, mais pousser, d'une longueur indéfinie et susceptible de passer partout. Il suffit pour cela, en principe, d'imaginer que deux cylindres identiques l'un à l'autre soient mis en communication sur les deux faces du piston par deux conduits d'aller et retour. L'eau étant incompressible, le second piston devra exécuter rigoureusement le même mouvement que le premier. Quelques accessoires tels que soupapes de sûreté pour l'eau et pour l'air, réalimenteur pour réparer les pertes, etc., complètent dans la pratique ce programme succinct.

Un exemple très-remarquable de ce dispositif a été installé à Sulzbach-Altenwald (1). On en trouve d'autres (2) à Kladno pour un épuisement en vallée, et à la mine Phénix du Cornwall. M. Mouchet, ancien élève de l'école de Saint-Étienne, s'occupe également d'installer un renvoi hydraulique du jour au fond dans les mines d'Ikouno, qu'il exploite pour le gouvernement japonais.

Des essais ont été faits dans le même sens en substituant l'air élastique à l'eau incompressible. On sait que M. Marey en a tiré le plus utile parti pour les appareils enregistreurs de ses recherches physiologiques. Mais jusqu'ici il ne semble pas qu'aucune réalisation ait eu lieu d'une manière industrielle pour la transmission du travail en activité (et non pas du travail potentiel) d'un moteur à un autre. M. Deprez a montré qu'en négligeant les frottements on peut arriver, en maintenant un angle convenable d'avance constante entre les deux manivelles, à des rotations synchrones, avec un rendement égal à l'unité, c'est-à-dire indépendant des échanges de chaleur. Il y a perte en effet, même en dehors de la question des frottements, si, comprimant de l'air dans un réservoir, ce qui l'échauffe nécessairement, on le laisse se refroidir pour transporter ensuite ce récipient à distance et permettre alors à l'air de se détendre avec un nouveau refroidissement. Mais avec une conduite libre réunissant les deux machines, il n'y a pas condensation ou dilatation sur un point plutôt que sur un autre, et les échauffements ou refroidissements s'interfèrent complétement.

Il est impossible de ne pas mentionner dans cet ordre d'idées le système si remarquable de transmissions de la force à distance au

(1) *Compte rendu mensuel*, décembre 1876, page 1, et janvier 1877, page 29. *Zeitschrift für das Berg, Hütten und Salinenwesen*, tomes XXII, page 179, et XXIII, page 60.

(2) *Revue universelle des mines et des usines*, tomes XXIII-XXIV, p. 303.

moyen de l'électricité (1). Bien qu'il n'ait pas encore fonctionné dans les mines, il paraît appelé (pour celles qui ne sont pas grisouteuses, à cause des étincelles) à y jouer un jour un rôle d'une certaine importance, en raison de l'extrême facilité de la mise en communication qui se réduit à un fil conducteur. Celui-ci met en relation deux machines de Gramme, l'une directe, l'autre intervertie. La première change le travail en électricité dynamique et la seconde opère la transformation inverse. Le rendement atteint dès à présent, dans les cas les plus favorables, 60 p. 100, résultat très-remarquable pour une innovation qui est encore aussi rapprochée de ses débuts.

§ IX. — Aérage, éclairage, accidents.

Aérage, éclairage, coups de feu, incendies. — A la suite d'une loi votée par les Chambres, une commission spéciale a été instituée par le Gouvernement pour l'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou. J'ai été chargé dans sa première séance de rédiger un rapport développé destiné à préciser l'état de la question et à servir de point de départ à ses travaux. J'ai cherché dans ce travail à présenter autant que possible l'état des connaissances actuelles sur la composition et les propriétés du grisou, sa pression et son mode de dégagement, l'influence des variations barométriques, le rôle des poussières de charbon, l'aérage naturel ou artificiel et ses relations avec la méthode d'exploitation, l'éclairage, les moyens avertisseurs de la présence du gaz, les coups de feu, les procédés de sauvetage, les appareils respiratoires et les incendies souterrains.

Ce rapport a été distribué par les soins de l'Administration des mines à un grand nombre d'ingénieurs et d'exploitants. Il a donc déjà reçu une première publicité. De plus, il paraît probable que dans un délai prochain il en sera publié dans ce même recueil une seconde édition, après un remaniement destiné à rendre compte des travaux de la commission et des documents nouveaux qu'elle a reçus en réponse à l'envoi de la première.

On comprendra facilement d'après cela que si j'abordais ici les diverses questions que je viens d'énumérer, je ne pourrais que

(1) Tresca, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXVIII. *Bulletin de l'association scientifique de France*, n° 607, et *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3ᵉ série, tome VI, page 378.
Imbert, *Compte rendu mensuel*, juillet 1879, page 165.

faire double emploi avec ce travail qui est très-étendu et que je serais obligé de réduire considérablement pour le faire rentrer sans trop de disproportion dans le cadre de la revue actuelle. Je crois donc préférable, pour tout ce qui concerne ces différents sujets, de me référer simplement au rapport en question, et de me borner ici à parler des divers genres d'accidents qui n'ont rien de commun avec le feu.

Accidents divers. — Le volume de la *Statistique de l'industrie minérale* (1), qui vient d'être publié par l'Administration centrale, sous la direction de M. l'ingénieur des mines Keller, fournit pour l'année 1875 des documents très-intéressants sur le nombre des accidents survenus en France dans l'exploitation minérale. Nous les résumerons dans les tableaux suivants.

La proportion des hommes tués sur 1.000 ouvriers a été la suivante :

Combustibles minéraux	2,06		
Minerai de fer	1,96		
Autres substances	1,57		
Ensemble des mines		2,03	
Minerais de fer non concessibles	1,30		
Pierre à bâtir, gypse, etc.	1,99		
Ensemble des carrières souterraines		1,95	
Minerais de fer non concessibles	1,01		
Tourbe	0,03		
Substances diverses	0,76		
Ensemble des exploitations à ciel ouvert		0,58	
MOYENNE DE TOUTES LES EXPLOITATIONS MINÉRALES			1,38

Le nombre absolu des morts était de 243 pour les mines, 44 pour les carrières souterraines, 66 pour les exploitations à ciel ouvert, c'est-à-dire en tout 353.

Quant à la manière dont se répartit cette mortalité suivant les divers genres d'accidents, elle est représentée par le tableau suivant :

(1) Paris, Imprimerie nationale, 1878, pages XXXV à XXXIX.

ACCIDENTS.	MINES de combustibles.		MINES de fer.		MINES diverses.		CARRIÈRES souterraines.	
	Tués.	Tués ou blessés.	Tués.	Tués ou blessés.	Tués.	Tués ou blessés.	Tués.	Tués ou blessés.
Éboulements	37,50	44,55	30,00	39,86	55,56	27,12	65,90	[illegible]
Explosions de gaz	8,48	2,09	»	»	»	»	»	»
Asphyxies	8,03	0,84	10,00	5,07	»	»	»	»
Chutes dans les puits	17,86	5,71	20,00	23,91	»	11,86	18,18	[illegible]
Ruptures de câbles	9,38	5,75	10,00	3,62	22,22	20,34	4,55	[illegible]
Coups de mines	4,46	3,29	10,00	5,07	22,22	27,12	4,55	[illegible]
Inondations	0,45	0,14	»	»	»	»	»	»
Causes diverses	13,84	37,63	20,00	22,47	»	13,56	6,82	[illegible]
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	[illegible]

La proportion absolue, rapportée à 1,000 ouvriers employés tant à la surface qu'au fond, a été la suivante :

	TUÉS.	BLESSÉS.	TOTAL.
Mines	2,06	17,73	19,79
Carrières souterraines	1,95	9,61	11,56
Carrières à ciel ouvert	0,78	2,01	2,79

C'est, comme on le voit, en ce qui concerne les mines, un total de près de 2 pour 100. Il y a eu pour les mines de combustible un cas de mort par 75.700 tonnes de charbon extrait (1).

Éboulements. — Les éboulements constituent en définitive l'influence la plus meurtrière dans les mines. On a pu voir par les tableaux précédents que la proportion des cas de mort dus à cette cause atteint presque la moitié du total des décès. Elle s'exerce la plupart du temps par une multitude d'accidents de détail. Le meilleur moyen de la prévenir consiste dans un choix attentif de la méthode d'exploitation, eu égard aux conditions du gîte. Il faut y joindre une discipline rigoureusement maintenue parmi les

(1) Dans l'empire d'Autriche-Hongrie, la proportion des accidents suivis de mort a été, en 1876, de 3,27 en moyenne par 1.000 ouvriers des mines de houille et de 1 accident mortel pour 45.688 tonnes. En étendant ces proportions aux mines de toutes sortes, les chiffres précédents deviennent 2,49 et 66.157 tonnes (OEsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen, 1877 et 1878; Die Production der Eisenwerke in OEsterreiche, 1878; extrait par M. l'ingénieur des mines Le Cornu, *Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 577).

hommes, en vue de les forcer à user des moyens de soutènement qu'ils sont souvent tentés de négliger pour abattre plus de charbon dans le même temps, quand ils sont payés à la benne. A Beaubrun, par exemple, le bois est fourni à discrétion, et l'ouvrier qui subit un éboulement par sa faute est renvoyé. A la Mure, on inflige une amende à tout mineur qui s'endort à la taille, etc.

Un éboulement local se limite toujours en hauteur à une faible distance, puisqu'il ne peut remplir que l'épaisseur du chantier. Mais si on vient le déblayer directement, on risque parfois de le transformer en chambre d'éboulement qui donnera indéfiniment si le toit y prête. Quand on se trouve dans ces conditions il est bon, d'après une pratique suivie par exemple à Carmaux, d'arriver au-dessus de l'éboulement en se boisant et d'y pratiquer un grillage qui défende contre la propagation du foudroyage en hauteur. C'est alors qu'on revient en dessous à l'abri de ce garnissage.

On sait du reste, lorsque des hommes sont pris par l'éboulement, avec quelle persévérance doivent être conduits les travaux de sauvetage sans pour ainsi dire jamais désespérer. Le puisatier Prévost, enseveli à une profondeur de 25 mètres à Burcy, près Conches (Eure), a été retiré vivant au bout de vingt jours, à l'aide de travaux conduits par MM. Roger, ingénieur en chef des mines; de Genouillac, ingénieur ordinaire; Halipré, Nabourel et Poudruel, gardes-mines. Le puisatier Giraud, à une époque déjà ancienne, était resté pendant trente jours enfermé avec le cadavre de son compagnon. On était à la vérité parvenu, dans les derniers temps, à lui faire passer quelques aliments. Il est mort d'épuisement, mais seulement au bout d'un certain temps après sa délivrance.

On a vu parfois l'éboulement d'une mine se faire en grand et sur toute la totalité de son étendue à la fois. On peut citer dans les siècles passés l'effondrement de Fahlun (Suède), en 1687, déterminant une excavation de 240 mètres sur 280 et une profondeur de 80 mètres (1); celui d'Altenberg (Saxe) en 1620, effectué sur près d'un kilomètre carré et représenté encore de nos jours par une dépression de 130 mètres de profondeur, provenant de l'affaissement d'une hauteur de 340 mètres de travaux. Je rappellerai encore l'éboulement de la mine entière de Stahlberg (pays de Siegen) en 1740, du Rammelsberg dans le XIV[e] siècle, d'Idria en 1652, où l'*étage des morts* a enseveli cinquante piqueurs (2),

(1) Héron de Villefosse, *Richesse minérale.*
(2) Huyot, *Annales des mines*, 5[e] série, tome V, page 14.

et beaucoup d'autres moins complets, à Rancié (XIV[e] siècle), Geyer (Saxe), Schlackenwald (Bohême), Huancavelica (Amérique), Lescara (Sicile), etc.

Un accident analogue vient de se produire récemment en France. C'est l'effondrement de la mine de sel de Varangéville (Meurthe-et-Moselle) (1). On y avait introduit les méthodes du Salzkammergut pour le havage par l'eau. Bien que le liquide fût recueilli avec soin, des infiltrations avaient fini par délayer les marnes du mur. Le 31 octobre 1873, les piliers massifs s'y enfoncèrent tous à la fois, et l'on vit, dans l'espace d'une demi-minute, s'affaisser sur une hauteur de 3 mètres une étendue d'environ 350 mètres sur 300 mètres. Les marnes délayées refluèrent sur une hauteur de 20 mètres dans le puits, et l'air comprimé y fit explosion en lançant la cage à travers la toiture. C'était jour de paye heureusement, et les hommes étaient sortis de la mine.

Quant aux deux accidents de Marles déjà plus anciens, ils sont présents à toutes les mémoires (2). Tout le vieux quartier a été inondé par les niveaux à travers le puits n° 2, effondré le 2 mai 1866. L'exploitation s'est reportée ailleurs. Les ingénieurs conseils de la compagnie (3) ont pensé, avec beaucoup de justesse, que la marche la plus sage pour un long avenir était de déhouiller tout le reste de la concession en dehors de la partie inondée, dont on possède les plans, et en se gardant contre elle par des investisons suffisants. A ce moment seulement on reviendrait au-dessous d'elle, à 500 mètres de la surface, et on exploiterait par une méthode descendante, en remblayant le mieux possible pour éviter les mouvements et en s'enfonçant jusqu'à la limite de profondeur que permettraient à cette époque les progrès de l'art des mines. Puis, après avoir atteint cette limite, on remonterait vers le niveau de 175 mètres, qui est celui de l'inondation, en déhouillant avec prudence dans une marche remontante que l'on arrêterait d'ailleurs aux premières inquiétudes. Tous les autres projets pour rentrer directement dans le quartier inondé et y établir des serrements, ont été jugés avec raison chimériques, puisque la communication est ouverte avec les niveaux aquifères à travers un large passage rempli de bois, de pièces de machines et de pans de maçonnerie.

---

(1) *Annales des mines*, 1873, 7[e] série, tome IV, page 613.

(2) Glépin: *Établissement des puits dans les terrains ébouleux et aquifères.*

(3) *Mémoire à présenter aux ingénieurs consultés*, etc., par Callon (autographié).

Mémoire sur la question de reprendre la fosse n° 2, etc., par MM. Declercq, de Bracquemont, Alayrac et Lamborot.

Coups d'eau. — L'inondation subite constitue l'un des plus graves dangers de l'exploitation souterraine. Pour retracer ici de bien anciens souvenirs, je rappellerai le terrible coup d'eau de Liége, en 1812, dans lequel 19 personnes furent noyées, et 74 autres, parmi lesquelles 15 enfants, sauvées au bout de cinq jours. L'inondation de la Plomterie (dans le faubourg Sainte-Walburge, à Liége également) noya la mine entière et exigea sept années d'efforts pour sa reprise. Un procès-verbal fort curieux du 1er août 1664 relate un coup d'eau du charbonnage de Crèvecœur (Hainaut) dans lequel cinq ouvriers restèrent emprisonnés pendant 24 jours et 6 heures (1). L'inondation de la mine de Lalle, du 11 octobre 1861, dans laquelle 109 hommes ont perdu la vie, a fait l'objet d'une relation très-émouvante et fort instructive de M. l'ingénieur des mines Parran (2), qui, chargé du sauvetage, réussit à retirer six mineurs, dont quelques-uns étaient restés enfermés 14 jours sans aliments, sauf pendant la première journée. A Beaubrun (Saint-Étienne), on avait vaguement conservé le souvenir d'un *quartier des noyés* dont on ne connaissait plus la situation exacte, mais où, d'après la tradition, des hommes avaient été surpris en perçant aux eaux dans des travaux plus anciens encore. On l'a, en effet, depuis lors, traversé dans un fonçage, et on y a retrouvé des squelettes d'hommes et ceux de 17 mulets avec leurs harnais. Dans la mine de Landshipping (sud du pays de Galles), la mer a fait irruption au moment de la marée et a surpris 40 hommes qui n'ont jamais été retirés (3).

Pour nous borner aux coups d'eau les plus récents, deux événements de ce genre viennent de s'ajouter à ces funèbres annales. Le 8 mai 1877, à Roche-la-Molière, un niveau de recherches précédé d'un coup de sonde de 5m,30 perça aux eaux dans les vieux travaux. On battit en retraite, mais cinq hommes restèrent prisonniers. Ils furent délivrés au bout de huit jours, dont six s'étaient passés sans aucun aliment solide. Mais la faim ne leur avait pas fait endurer de souffrances comparables à celles du froid, leurs vêtements restant constamment mouillés par l'humidité (4).

Le 11 avril 1877, la mine de Tynewidd (comté de Glamorgan, pays de Galles) fut inondée par la rencontre des vieux travaux (5).

(1) *Annales des mines*, 6e série, tome IV, page 189.
(2) *Annales des mines*, 6e série, tome IV, page 165.
(3) Le Cornu, *Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 354.
(4) *Écho des mines*, 17 mai 1877.
(5) Sauvage, *Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 63.
Compte rendu mensuel, septembre 1877, page 9. — *Bulletin de l'asso-*

14 hommes manquaient à l'appel. L'examen des plans montra que certaines remontées en cul-de-sac avaient dû être remplies d'air comprimé par la pression de l'eau et que des ouvriers pouvaient s'y être réfugiés. Les coups frappés par eux en fournirent bientôt la certitude. On réussit à percer dans une de ces poches. Mais la débâcle de l'air fut si vive qu'un des cinq mineurs qu'elle renfermait fut brisé contre la roche. Les quatre autres furent retirés vivants. Dans un autre réduit, les coups cessèrent bientôt par suite de la filtration de l'air qui avait laissé l'eau monter et noyer les hommes. M. Galloway ayant découvert sur les plans un troisième point de refuge et ayant réussi à entendre des coups frappés dans cette direction, parvint encore à en arracher 5 hommes au bout de sept jours. Le premier projet pour ce travail était de baisser les eaux en activant l'épuisement, de dégorger l'air comprimé par un coup de sonde quand on serait assez près, et donner alors un passage aux hommes. Une autre idée consistait à approcher aussi rapidement que possible, à établir un sas à air à l'aide de cloisons munies de portes, à y comprimer de l'air et déboucher ainsi dans la cloche. C'est à ce dernier projet que l'on s'arrêta, et il permit de sauver les hommes, quoique dans la précipitation d'un pareil moment on n'eût pas réussi à faire garder l'air par le sas. On avait aussi essayé, mais sans succès, de porter des vivres aux prisonniers avec des appareils plongeurs.

Appareils concernant l'invasion des eaux. — M. Upward a proposé, pour porter secours aux hommes enfermés dans des cloches d'air comprimé (1), un outil spécial de sondage à l'aide duquel on percerait le massif sans laisser échapper l'air, pour tenir les eaux basses, de manière à pouvoir ensuite envoyer par cette voie aux captifs des aliments et de l'air.

On a également proposé un appareil révélateur de l'arrivée des eaux pour le cas où leur irruption ou des infiltrations lentes se produiraient d'une manière insidieuse hors de la présence des hommes, en créant ainsi un danger pressant. Cet organe se compose d'un cylindre de 0m,08 de hauteur et 0m,05 de diamètre. Il contient une boule creuse, et on le pose sur la sole de la galerie. L'eau, en montant, pénètre dans le cylindre par des trous, soulève la boule et ferme ainsi un circuit électrique. Une sonnerie avertis-

---

ciation scientifique n° 504, page 9.
Engineering n°s 604 et 605.
Écho des mines, 1877, page 329, etc.
(1) *Proceedings of the south Wales Institute of Engineers*, tome X, n° 5.

seuse fait alors connaître dans le bureau, par son numéro, l'emplacement de l'inondation. Cette innovation paraît plus ingénieuse que pratique.

On connaît depuis longtemps (1) le scaphandre de Klingert (1797), de Sièbe (1829) et de Cabirol (1857), ainsi que les services qu'il rend aux travaux publics (2). Dans les mines, la question se complique d'une obscurité intense. Notons cependant qu'indépendamment des moyens d'éclairage dont je vais parler, on a pu, dans le fonçage que M. Chaudron exécute à Dax, faire à tâtons une réparation importante à 23m,50 sous l'eau. M. Denayrouze a perfectionné (1867) l'appareil plongeur (3) en y adaptant un régulateur qui forme réserve d'air pour les chances d'accident, et un appareil acoustique qui laisse le plongeur en communication par la parole avec les hommes qui l'assistent au dehors. M. Fayol, directeur de Commentry, a également modifié le système (4) en supprimant le casque. On peut alors plonger nu ou avec un vêtement imperméable. Quant aux moyens d'éclairage, on possède la lampe Cabirol, la lampe au pétrole Rouquayrol-Denayrouze, celle de M. Fayol, et la lampe Du Temple. Quand l'eau est très-trouble, ces moyens deviennent insuffisants. MM. Barnett et Foster ont proposé un système d'éclairage à la lumière Drummond, et MM. Henilhe et Davis l'emploi de la lumière électrique (5). Nos voisins du bassin de Westphalie ont l'attention portée de ce côté. Une corporation spéciale y a été formée parmi les mineurs, dans laquelle chacun des membres s'engage par écrit à participer au besoin au travail sous l'eau (6).

Transport des hommes. — Le transport des cadavres dans tous les genres d'accidents exige de grandes précautions pour la santé des mineurs employés au sauvetage. M. l'ingénieur en chef des mines Linder a indiqué succinctement (7) celles auxquelles il a eu recours après l'accident de Graissessac.

(1) Pernolet : *L'air comprimé*, page 7.
(2) Travail par plongeurs aux mines de zinc de Scharly (*Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, tome XXIV, page 214).
(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, tome X, p. 585. Chansselle, *Ibidem*, 2e série, tome II, page 239.
(4) De Place, *Ibidem*, 2e série, tome II, page 755.
(5) *Les mondes*, tome XLV, page 529.
(6) Rapport de l'assesseur des mines Tilmann pour le district de Bochum. *Des aérophores*, par A. et L. Denayrouze. Paris, 1872, chez Dunod, page 62. *Appareils plongeurs Denayrouze*. Paris, 1874, chez Chamerot, page 17.
(7) *Compte rendu mensuel*, août 1877, page 5.

La compagnie de Lens avait exposé au Champ-de-Mars sa grande cage, assez longue pour contenir un lit roulant sur les rails, destiné aux blessés. Pour ce transport, si douloureux lorsqu'il s'agit de fractures, M. le docteur Riembault a proposé un brancard (1) dans lequel l'homme est emboîté de manière à éviter les mouvements relatifs des parties du corps, soit que le brancard soit porté horizontalement, soit qu'il faille momentanément l'incliner ou même le mettre debout. De cette manière, le blessé recueilli au chantier sur ce brancard y reçoit encore à l'hôpital le premier pansement du médecin.

C'est ici la place naturelle pour mentionner les travaux médicaux, qui ne sauraient être trop encouragés, sur l'hygiène et la santé des mineurs. MM. les docteurs Riembault (2), Manouvriez (3) et Paul Fabre (4) ont fait à cet égard des communications intéressantes, pour l'analyse desquelles je manquerais de la compétence nécessaire (5).

Chacun sait également avec quelle émulation digne des plus grands éloges la plupart des compagnies minières ont, depuis un certain nombre d'années, consacré leurs efforts et d'immenses capitaux à l'amélioration du sort de l'ouvrier et à la création d'hôpitaux, d'écoles, d'églises, de casernes, d'hôtels, de bains, de cantines, etc., ainsi que de caisses de secours, de retraite, de dépôts, de prêts. Malgré son importance, et même en quelque sorte en raison de son importance, ce sujet ne saurait être convenablement abordé ici. Il exigerait des développements très-étendus, peu susceptibles de condensation, et soustraits par leur nature purement économique au point de vue technique auquel nous restons placés dans cette revue. Cet ordre de considérations pourrait faire utilement l'objet d'un travail spécial, mais il sera passé ici sous silence. Il m'était toutefois impossible de le faire sans signaler l'intérêt et la sympathie qui s'attachent à ces utiles et remarquables créations.

Pour un motif analogue, j'écarterai ce qui est relatif à la statis-

---

(1) *Compte rendu mensuel*, 1879, janvier, page 13, et mars, page 80.

(2) *Compte rendu mensuel*, juillet 1878, page 148.

(3) *De l'anémie des mineurs*. Paris, 1878, chez Baillère.
Compte rendu mensuel, 1878, juillet, page 148, et novembre, page 227.

(4) Conditions hygiéniques des houillères (*Revue des sociétés savantes*, 3e série, tome I, page 195).
Compte rendu mensuel, mai 1878, page 235.

(5) Le spirophore, appareil de sauvetage pour les asphyxiés (*Compte rendu mensuel*, juillet 1876, page 7).

tique de la production minérale. La publication faite par le Ministère des Travaux publics, en ce qui concerne la France, et les intéressants résumés insérés pour les pays étrangers dans les *Annales des mines* par M. Keller, directeur du service de la statistique minérale, me dispensent d'aborder cet ordre de considérations.

§ X. — Préparation mécanique des minerais.

Généralités. — Pendant la période qui s'achève, les procédés de la préparation mécanique des minerais ont continué de plus en plus à perdre le caractère d'extrême complication qui semblait autrefois leur apanage nécessaire. Les principes de cette opération, au fond très-simples, ont été mieux mis en lumière; un petit nombre d'appareils vraiment efficaces et décisifs tend à éliminer la multitude de ceux qui donnent des résultats un peu confus. Pour ne parler que de la France, les nouveaux ateliers de Vialas (M. Garnier), de la Baume (M. Souhart), de Montebras (M. Verdier), accusent nettement cette tendance.

On peut remarquer de même une propension marquée à la concentration en un seul endroit, quand on y peut réunir la quantité d'eau nécessaire, des ateliers autrefois disséminés en divers points d'un même district. Le perfectionnement des moyens de transport facilite beaucoup cette tendance, et l'économie générale des opérations en ressent une influence favorable. C'est ainsi, par exemple, que l'on rassemble à Bremerlohe, près de Clausthal, la plupart des minerais du Hartz, dans un atelier renfermant, entre autres organes, 176 flèches de bocard et traitant 165.000 tonnes par an.

On a de même apporté un soin plus marqué à la construction des appareils (1), dont un grand nombre étaient autrefois d'une exécution assez grossière. Certains organes deviennent de véritables appareils de précision. Le fer tend à y remplacer le bois, qui est sujet à se déjeter, à se fendre et à pourrir. Cependant, dans certains cas où la réaction acide des eaux des mines employées pour les opérations attaquerait le métal, on a dû revenir à l'emploi du bois.

On s'attache aussi plus qu'autrefois à obtenir l'automatisme, de

---

(1) Huet et Geyler : *Mémoire sur l'outillage nouveau et les modifications apportées dans les procédés d'enrichissement.*
Gœtschmann : *Die Aufbereitung.*
Rittinger : *Lehrbuch der Aufbereitungskunde.*

manière à pouvoir réduire le personnel et à assurer en même temps l'uniformité des résultats.

Les transports se simplifient également. On recourt le plus possible, pour les effectuer, à des monte-charges, norias, vis, toiles sans fin, etc., ainsi qu'au moyen très-commode de l'entraînement dans des conduits suffisamment inclinés, par un courant d'eau rapide.

Les principes généraux de la préparation mécanique ont été beaucoup élucidés par l'esprit si net de Callon. La mort de mon illustre maître, qui a été un véritable deuil pour le Corps des mines, en interrompant la publication de son beau *Traité d'exploitation des mines* l'a empêché d'y aborder ce sujet, qui en eût été la conclusion naturelle. Cette lacune vient d'être très-heureusement comblée, à la demande de M[me] veuve Callon, par M. Boutan, à l'aide de ses propres observations et des notes laissées par l'auteur. Ce jeune ingénieur a développé avec un véritable talent cette matière délicate dans un troisième volume ajouté par lui à l'ouvrage, comme il l'avait fait déjà pour le *Cours de machines* de Callon, en le complétant par la théorie de la résistance des matériaux.

Scheidage. — Les ateliers de scheidage, autrefois laissés dans un état déplorable, sont aujourd'hui plus soignés au point de vue de l'installation matérielle des ouvriers, dont le travail donne par cela seul de meilleurs résultats.

Le klaubage se fait parfois sur des tables sans fin, à lames articulées et à mouvement rectiligne très-lent, moins fatigant pour les yeux que la rotation des anciennes tables tournantes. On a établi de tels appareils à Lens, à la Prugné (Allier), etc. Les wagons se déversent au chevet de ces tables, et un joug sous lequel elles passent dans leur mouvement assigne aux matières une épaisseur uniforme.

Aux grands triages de Mariemont et de Bascoup, on a installé d'énormes plaques tournantes. La benne y déverse son chargement. Un joug égalise les matières, des socs fixes les labourent de distance en distance pour en renouveler les surfaces au fur et à mesure de leur épuration par des gamins ou des filles, et, quand la révolution est accomplie, un arrêt oblique déverse tout ce qui reste dans une trémie qui conduit aux wagons.

Débourbage. — En fait d'appareils débourbeurs, je citerai pour sa nouveauté le trommel Baye (1). Il est destiné aux exploitations

(1) Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome I, page 605.

de phosphates dans lesquelles on est gêné par la pénurie d'eau stagnante, ou lorsqu'on veut éviter de troubler les rivières.

On rassemble toutes les eaux dont on dispose dans une fosse. Le wagonnet sur lequel est monté le trommel, et qui a été se remplir à la tranchée, y descend au frein sur ses rails et s'y trouve immergé. Une courroie, actionnée par une locomobile, met l'appareil en rotation. Le débourbage s'opère ; les noyaux seuls restent dans le cylindre qui est muni de poignards. La vase est mise en suspension dans l'eau ; le sable et les grains de phosphate tombent à travers les trous dans deux caisses latérales à fond incliné, fermées par une trappe verticale. Les trépidations de l'appareil, mal calé dans de telles conditions, contribuent à opérer un classement par densité. Les phosphates fins se trouvent ainsi réunis au contact de la trappe. Ils se présentent, par suite, les premiers, et peuvent être facilement recueillis quand on lève celle-ci pour vider les sables après que l'on a remonté le wagon et qu'on l'a conduit par le prolongement de la voie ferrée au point de déchargement, d'où il revient ensuite au chantier pour recommencer son fonctionnement.

Broyage. — En dehors des broyeurs bien connus de tout le monde, je citerai l'appareil Vapart, analogue au pulvérisateur Carr, avec un dispositif un peu différent et pour lequel on annonce une moins grande consommation de force motrice (1).

Le triturateur Anduze (2) est formé de deux meules, l'une gisante, l'autre tournante, mais situées dans un plan vertical. Elles sont munies de saillies pyramidales qui engrènent et broient la matière déversée entre elles par une trémie.

Le broyeur-frotteur construit aux ateliers Crozet-Fourneyron consiste en une meule roulante dont le profil méridien, au lieu d'être une ligne droite parallèle à l'axe de révolution, est une courbe très-ondulée.

Le pulvérisateur Schwartzmann, employé à Ammeberg, est formé d'un disque pris entre deux cylindres. La différence des vitesses du disque aux divers points de la longueur des cylindres, crée une sorte de torsion favorable au broyage.

Le bocard d'Australie (3) a ses flèches libres, avec un mentonnet régnant en forme de disque tout autour. Il est pris de biais par

(1) *Compte rendu mensuel*, avril 1877, page 14.
(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXII, page 956.
(3) Pihet, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 2e série, tome IX, p. 691.

l'arbre à cames, de manière à tourner sur lui-même d'un certain angle à chaque coup, comme un fleuret de perforation, afin d'égaliser l'usure du pilon et de l'auge.

Je mentionnerai encore, sans m'y appesantir, les broyeurs Fauconnier (1), Motte et Delnest (2), Dejardin (3), Jacques (4), etc.

Comme correctif de la longueur de cette liste, il convient de rappeler qu'en définitive on n'emploie guère dans la pratique vraiment courante que le concasseur américain pour dégrossir, les cylindres en général gros et courts, et le bocard, dont l'emploi est en voie de diminution, les meules, dans des cas tout spéciaux de finesse, ainsi que le désintégrateur Carr pour les charbons.

Classement. — Le classeur magnétique est employé pour les minerais spéciaux qui sont doués de cette propriété. Ce principe, déjà mis en œuvre par M. Chénot en 1855, et depuis par MM. Vennin et Deregneaux, a été repris en dernier lieu par M. Vavin (5). Les trieurs magnétiques ont été notamment employés pour le traitement de sables ferrugineux de l'île de la Réunion, pour des minerais de Przibram, etc.

La base essentielle de tout classement précédant le lavage reste nécessairement la séparation par grosseur. Dans les anciens rätter inclinés, les tôles à trous font de jour en jour disparaître les tamis de fils métalliques. Avec elles le trou est rond et a tous ses diamètres égaux, ce qui n'a pas lieu pour le trou carré de ces derniers. De plus, l'orifice est immuable, tandis que les déplacements des fils jettent une certaine incertitude sur le classement. On emploie également des tôles épaisses percées de trous inclinés par rapport à leur plan, de manière à se trouver placés verticalement.

On tend aussi dans certains triages à substituer aux secousses de ces appareils des mouvements continus. A Decazeville (6), Carmaux, etc., ils sont actionnés par des excentriques. Dans le crible Briard (7), les barreaux de la grille sont fixes de deux en deux,

(1) *Revue de l'Exposition de 1867*, page 559.
(2) *Ibidem*, page 559.
(3) *Ibidem*, page 579.
(4) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXII, page 356.
(5) *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome III, séance du 15 janvier 1876.
(6) Tesseyre, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome I, page 193.
(7) *Publications de la Société des anciens élèves de l'École spéciale d'industrie et des mines du Hainaut*, 2e série, tome III.

tandis que les autres prennent entre les précédents un mouvement angulaire qui les fait alternativement remonter au-dessus du plan des premiers ou se dérober au-dessous. De là un brassage tranquille des matières qui supprime les arc-boutements sans produire autant de menu que les chocs.

De plus en plus les trommels se substituent aux rätter. Ils fournissent en effet une solution bien plus satisfaisante. Je citerai en particulier le trommel Bouderen, dans lequel l'inventeur a eu pour but d'éviter un inconvénient inhérent au mode ordinaire. Dans un trommel unique, en effet, les premières travées parcourues sont naturellement celles qui sont percées des plus petits trous. Ce sont précisément les plus délicates, les plus chères et en même temps celles qui seront usées le plus vite, puisque toute la matière y passe, tandis que la travée des plus grands orifices n'est parcourue que par le dernier refus. L'inverse est réalisé dans le trommel Bouderen au moyen d'un artifice qu'il serait difficile d'expliquer sans figure. Le gros qui forme le refus de la première travée quitte l'appareil, tandis que la matière qui vient de le traverser subit un second triage sur la travée suivante, et ainsi de suite. Ce principe a été appliqué notamment à Pontpéan.

Laveurs à retour d'eau. — L'un des inconvénients de l'ancien bac à charbon qui ont le plus préoccupé les exploitants dans ces derniers temps, consiste dans l'aspiration produite par le relèvement du piston, qui ramène l'eau en arrière au lieu de lui laisser complétement son rôle de milieu résistant, et qui rappelle en même temps les matières soulevées et surtout les schlamms fins. On obvie à ce défaut par le principe du retour d'eau, qui consiste à faire voyager celle-ci à travers les matières toujours dans le même sens et à la ramener au point de départ à l'aide d'un circuit latéral. A cet effet, le piston est creux et muni de clapets qui s'ouvrent de haut en bas. Quand on le relève, les clapets s'abattent, l'eau traverse et n'est pas rappelée aussi directement par ce soulèvement. Quant à celle qui est refoulée par le pistonnage, elle se répand dans une grande caisse environnante où elle perd sa vitesse et laisse déposer les schlamms. On obtient ainsi une plus grande activité et un meilleur classement qui se traduit par une moins grande teneur en cendres du produit lavé. Il n'est pas jusqu'aux schlamms charbonneux qui en suivant leur cours naturel, au lieu d'être attirés à travers le schiste, sont plus purs et mieux utilisables.

Ces indications ont été réalisées à Beaubrun dans le bac Reno-

dier (1), qui depuis y a été modifié par M. Porchère. (2) M. Rivière, directeur de Rochebelle, a étudié un lavoir établi d'après ces mêmes principes avec un tuyau de retour (3). Les bacs à retour d'eau se répandent beaucoup. Les houillères de la compagnie du Creuzot, ont effectué cette transformation sous la direction de M. Chosson.

La même préoccupation a donné naissance au laveur-classificateur à vapeur de M. Maximilien Évrard (4), qui vient d'être installé avec tous ses derniers perfectionnements à Roche-la-Molière. Par un principe entièrement nouveau, cet appareil (5) emploie la pression de la vapeur agissant directement sur l'eau comme dans les pompes à impulsion de vapeur (6). On arrive ainsi à déterminer son passage toujours dans le même sens et sans rappel de haut en bas. Quand on relève ensuite la tôle à trous et la charge, à l'aide de la force d'un accumulateur, la masse n'est pas non plus retraversée en sens contraire par le mouvement relatif du liquide. Elle le soulève au contraire, en raison de son étanchéité, et le fait déborder dans des cuves d'épuration, d'où il revient dans la cuve de pistonnage par un véritable retour d'eau. On arrive ainsi à traiter en une seule fois jusqu'à 3 tonnes, et à répéter cette opération sept fois par heure.

M. Marsaut s'est également proposé de traiter de grandes masses en opérant la marche toujours dans le même sens (7). Mais il réalise ce mouvement relatif d'une manière inverse. C'est alors l'eau qui reste fixe, et la charge y descend par une série de petites chutes. Le relevage se fait ensuite en trois fois, avec découpage en tranches que l'on déverse dans trois trémies distinctes. Le liquide

---

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome I, pages 495 et 787.
Compte rendu mensuel, mars 1879, page 71.

(2) *Compte rendu mensuel*, octobre 1878, page 214, et février 1879, page 38.

(3) Rivière, *Compte rendu mensuel*, février 1878, page 21.

(4) Qu'il ne faut pas confondre avec son relaveur à couronne de la Chazotte, d'Épinac, etc. (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, tome IX, et 2e série, tomes II et IV).

(5) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tomes II, V, VI.
Compte rendu mensuel, septembre 1878, page 187.
Bulletin de la Société d'encouragement, janvier 1875.
Publication industrielle d'Armengaud, tome XXI.
La compagnie de Roche et Firminy à l'Exposition universelle. Saint-Étienne, 1878.

(6) Voyez ci-dessus, page 93.

(7) *Étude sur le lavage de la houille*, par J. B. Marsaut. Paris, 1878.

déborde encore par la partie supérieure, d'où il revient en retour d'eau dans la cuve. On traite ainsi de 3 à 5 tonnes à la fois, c'est-à-dire 120 à 150 tonnes par jour avec la force d'un cheval.

Ces deux remarquables appareils ont beaucoup fixé l'attention des ingénieurs, et il me suffit d'en rappeler ici les principes. Ils figuraient du reste l'un et l'autre à l'Exposition universelle.

J'ai cru devoir placer ici ces indications sur la question du retour d'eau qui présente de l'actualité, mais je n'ai nul besoin d'insister sur le problème du lavage en l'envisageant d'une manière générale. Il a été traité avec un soin attentif et une grande sûreté de vues par M. Boutan, dans son troisième volume du traité de Callon. Je tiens beaucoup à ne pas faire ici double emploi avec cet ouvrage, auquel on pourrait se reporter pour les développements relatifs à cette matière.

SECONDE PARTIE.

MACHINES A VAPEUR.

---

§ XI. — Fonctionnement de la vapeur.

Condensation partielle. — Dans la machine à double effet, les phases essentielles de l'action de la vapeur sont au nombre de quatre : la pleine pression, la détente, l'échappement et la compression. Mais on peut en compter jusqu'à six, d'après la manière dont deux d'entre elles chevauchent sur les deux courses du piston, motrice et rétrograde. Ce sont : l'admission proprement dite, la détente et l'échappement anticipé; et en second lieu, l'échappement proprement dit, la compression et l'admission anticipée. L'étude théorique et expérimentale de ces diverses fonctions a fait dans ces derniers temps l'objet de travaux importants dont il est nécessaire de faire connaître ici les résultats.

L'une des questions les plus essentielles qui concernent l'admission est celle de la condensation partielle qui s'opère sur les surfaces métalliques refroidies par l'échappement (1). Les effets déli-

(1) Hypothèses sur la condensation et la réévaporation de la vapeur dans le cylindre (*Proceedings of civil Engineers*, tome XXII, page 371).

cats qui se rattachent à cette cause avaient été indiqués déjà avec beaucoup de précision par Combes dès 1845 (1).

Ils ont été étudiés récemment par M. Lissignol (2), qui propose de revêtir les fonds du cylindre et les faces du piston de plomb ou de porcelaine, ce qui paraît peu pratique.

La question a été soumise au contrôle de l'expérience, avec le secours des formules de la thermodynamique, par MM. Hirn, Dwelshauvers-Dery, Grosseteste, et Hallauer rapporteur (3). Les quantités de vapeur qui traversent le cylindre ne correspondent pas à celles qui devraient, d'après la pression, remplir au dernier moment le volume engendré. La différence tient à la quantité précipitée sur les parois refroidies. Mais ce dépôt, effectué pendant la phase de pleine pression, n'est pas définitif. Pendant la détente, le piston continue à découvrir des parois refroidies. La condensation qu'elles produisent, n'étant plus réparée par le générateur, tend à abaisser la pression plus rapidement que la loi théorique et à revolatiliser l'eau qui mouille les parois déjà réchauffées par sa précipitation. Cet effet masque pratiquement le phénomène inverse si remarquable découvert par Clausius (4), à savoir la condensation partielle de la vapeur sèche dans la détente adiabatique. Jusque-là rien n'est perdu, car le mélange est toujours en train de travailler sur le piston. Mais lorsque survient l'échappement anticipé qui prépare le vide pour la course rétrograde, la vapeur se précipite dans le condenseur, une chute rapide de pression se produit, et l'eau qui mouille les parois encore chaudes leur enlève cette chaleur pour rentrer en vapeur à cette pression diminuée et se rendre elle-même en cet état au condenseur. Cette seconde partie des échanges s'effectue dès lors en pure perte. Sa proportion, la seule perdue, s'est élevée dans les expériences jusqu'au chiffre bien frappant de 22 p. 100 de la chaleur totale apportée par la vapeur. Du reste, ces effets ont été étudiés par les habiles expérimentateurs à la fois pour la marche à vapeur saturée et

---

(1) *Traité de l'exploitation des mines*, tome III, page 557.

(2) *Note sommaire sur l'application de la théorie mécanique de la chaleur au perfectionnement des machines à vapeur*. Bruxelles, 1876.

(3) *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 1877, pages 141 à 214.

(4) Phénomène qui peut être précisément opposé pour d'autres liquides tels que l'éther, et qui est susceptible d'une limite nommée *température d'inversion*. Cette question a été, au point de vue pratique, traitée avec une grande netteté par M. Couche, que le Corps des mines vient de perdre (*Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, tome III, pages 720 et 740).

avec la surchauffe. L'avantage de cette dernière était facile à prévoir et s'est accusé par une économie de 23 p. 100 sur le premier mode.

M. Ledoux, ingénieur des mines, a publié également un mémoire important sur la question des condensations (1). Ce travail, fondé sur une connaissance approfondie de la théorie mécanique de la chaleur, dont l'auteur manie élégamment les équations, l'a amené à formuler une méthode pour la détermination de la condensation intérieure. Les développements analytiques qu'elle comporte ne permettraient pas de l'exposer ici.

M. Knight a proposé un appareil pour la détermination directe de la quantité d'eau entraînée mécaniquement de la chaudière dans le cylindre où elle vient s'ajouter à la condensation intérieure (2). On ne possédait auparavant à cet égard que la méthode de M. Hirn (3), dans laquelle on compare la chaleur totale d'un poids connu du mélange à celle que les tables de Regnault indiquent pour la vapeur saturée, mais sèche.

Chemises de vapeur. — La question des doubles enveloppes est directement liée à celle des condensations intérieures. Il y a lieu avant tout de distinguer la chemise de vapeur proprement dite des simples enduits protecteurs, aujourd'hui extrêmement nombreux (4), qui sont destinés à diminuer le rayonnement et à conserver la chaleur intérieure, mais sans pouvoir par eux-mêmes en céder de nouvelles quantités aux parois métalliques pour combattre leur refroidissement. Ces enduits doivent d'ailleurs être employés à protéger la chemise de vapeur elle-même.

Cette dernière (5) présente peu d'efficacité dans la marche à vapeur surchauffée, mais beaucoup plus avec la vapeur saturée, ce

---

(1) *Annales des mines*, 7e série, 1877.

(2) *Compte rendu mensuel* 1878, page 67.

Engineering, 28 décembre 1877.

(3) *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 1869.

(4) Enduits Pimont, Caloridor, Calorifuge franco-universel de Bourrelet-Magniat, Plastique calorifique de Lombard de Bruxelles, ciment William, liège, feutre, paille, sciure de bois, noir animal, poussière de chaux, etc.

(5) Résal, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXII, page 537.

Ledieu, *Ibidem*, page 599.

Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, tome III, page 779.

Isherwood : Efficacité des enveloppes non conductrices (*Journal of Franklin institute*, mars 1875).

qui est le corollaire naturel de leurs influences respectives sur la condensation par les parois qui viennent d'être caractérisées tout à l'heure. Tel est en effet le véritable rôle de l'enveloppe de vapeur, et non pas comme on l'a pensé quelquefois, d'empêcher dans le sein de toute la masse la condensation que l'on croyait, d'après le théorème de Clausius, destinée à se produire par la détente. La chaleur ne saurait ainsi pénétrer presque instantanément dans tout ce volume. Du reste, ce mode de fonctionnement de la vapeur saturée employée aurait précisément pour effet d'abaisser le rendement (1). Au contraire, l'objet de la chemise de vapeur est d'évaporer l'eau de précipitation, autant que possible *pendant la détente*, tandis qu'elle peut encore agir sur le piston, et non *pendant l'échappement*, quand elle n'a plus qu'à se rendre au condenseur, en enlevant cependant dans les deux cas la chaleur des parois. Or il peut suffire de l'addition d'une faible quantité de calorique pour déterminer cette évaporation *en temps utile*, ce qui explique les effets considérables d'une faible dépense de vapeur consacrée à l'enveloppe (2).

On doit toujours alimenter les chemises de vapeur avec la chaudière directement, et non avec le fluide détendu, suivant une ancienne erreur. De même il est vicieux d'alimenter les cylindres avec la vapeur qui a traversé l'enveloppe et qui est moins sèche (3). Les moyens de purge automatique doivent être employés pour les chemises de vapeur. Le mieux est du reste de disposer un retour d'eau à la chaudière si les conditions le permettent. M. Farcot est arrivé à chauffer l'intérieur du piston et de sa tige, qui participent aux mêmes influences que les parois fixes. M. de Laboulaye s'est préoccupé de l'idée que, dans l'enveloppe cylindrique, il s'établit un courant par le plus court chemin du point d'entrée au point de sortie, sans renouveler suffisamment toute la masse. Il a proposé pour remédier à cet inconvénient, de segmenter l'enveloppe par une cloison hélicoïdale, en la transformant en une sorte de serpentin. Cette disposition, rationnelle d'ailleurs, présenterait cependant d'assez grandes difficultés pratiques pour le moulage. On rencontre un dispositif analogue dans la machine Loftus-Perkins, dont je parlerai plus loin (p. 130). La vapeur circule dans un serpentin en fer sur lequel est coulé le corps du cylindre muni d'une enveloppe extérieure de noir animal.

(1) Moutier : *Thermodynamique*, page 139.
(2) Hirn : *Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur*, tome II, page 45.
(3) *Compte rendu mensuel*, avril 1878, page 81.

On a essayé, sans beaucoup de succès, d'alimenter les doubles enveloppes avec les gaz du foyer dans les machines de navigation, ou encore de placer les cylindres des locomotives dans la boîte à fumée, ce qui revient au même (1). La faible chaleur spécifique de ces gaz est loin de présenter un moyen puissant et rapide d'échauffement, comme la chaleur latente de la vapeur saturée.

Il convient de dire en terminant que quelques praticiens éminents résistent encore au courant presque unanime d'opinion qui se prononce de plus en plus en faveur des doubles enveloppes dans les machines à vapeur saturée (2).

Surchauffe. — Un autre moyen de combattre l'importance des condensations intérieures consiste, comme nous l'avons vu, dans la surchauffe de la vapeur (3). En cet état, le fluide devient moins bon conducteur de la chaleur, moins immédiatement prêt à la liquéfaction au contact d'une paroi froide. Il a maintenant besoin de se dépouiller préalablement d'un certain degré de chaleur sensible. L'emploi de la surchauffe rend d'après cela, comme nous l'avons dit, à peu près inutile celui de la double enveloppe.

Ce n'est pas son seul avantage. On y trouve aussi celui de recueillir des calories qui sans cela seraient absolument perdues, car c'est ordinairement sur le calorique emporté par les gaz que l'on prélève ce qui est nécessaire pour ce surchauffement.

---

(1) Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, tome III, page 785.

(2) Dwelshauvers Dery, *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXII, page 59.

(3) Hirn : *Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur*, page 118.

Rankine : *Manuel de la machine à vapeur*. Traduction et notes de Gustave Richard, page 454.

Rapport de M. Leloutre sur les expériences de M. Hirn avec la vapeur surchauffée (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 1866).

Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, tome III, page 789.

Croullebois : Détente de la vapeur surchauffée (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXI, page 592).

Dictionnaire des arts et manufactures, 2e édition.

Mallet : *Etudes sur les machines marines*.

Pochet : *Nouvelle mécanique industrielle*, page 131.

Traités de la théorie mécanique de la chaleur, de Clausius, Zeuner, Combes, Briot, Verdet, Moutier, etc.

Cazin : Détente de la vapeur surchauffée (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1866).

Hirn et Cazin (*Annales de chimie et de physique*, 1867).

La surchauffe permet encore, sans atteindre les énormes pressions qui découleraient de la formule des vapeurs saturées, d'élever notablement la température et d'augmenter par suite le coefficient économique du cycle de Carnot. Cependant, quoique l'étude théorique de cette question soit encore mal assise, puisqu'on ignore les lois exactes de la densité, de la chaleur spécifique et de la dilatation de la vapeur non saturée, on peut reconnaître que les avantages indiqués par le calcul sont très-limités et presque nuls, et que c'est beaucoup plutôt dans les deux premiers arguments ci-dessus qu'il faut chercher le motif des économies réellement constatées.

Ajoutons toutefois comme correctif que la réalisation pratique de la surchauffe présente d'assez grandes difficultés, même lorsqu'on se limite au simple asséchement de la vapeur. En outre, les pressions exceptionnelles vers lesquelles ne craignent pas de tendre certains esprits, comme nous le verrons plus loin (page 130), laisseront moins de marge à l'influence de la surchauffe, puisqu'on sera toujours limité par un maximum de température d'environ 220 degrés, qui commence à brûler les enduits et à exposer à des grippements inadmissibles.

Étranglement. — Un second point essentiel à examiner dans l'admission de la vapeur après la condensation intérieure concerne le laminage dans les conduites d'arrivée. On s'est fait autrefois sur ses inconvénients les idées les plus exagérées par une assimilation trop hâtive avec les effets analogues que l'on observe dans les machines hydrauliques. Ces dernières, en effet, ne comportent aucun des palliatifs dont nous allons reconnaître ici l'efficacité, à savoir : la condensation, la variation de densité et la surchauffe. En outre, à puissance égale, on opère alors avec l'eau sous un poids bien plus considérable de fluide, et le frottement est sensiblement (quoique non rigoureusement) proportionnel au poids. De cet excès on a ensuite réagi beaucoup trop en sens contraire, et quelques esprits vont jusqu'à attendre de l'étranglement un avantage de quelque importance. La vérité se trouve entre les deux manières de voir. Les expériences de M. Hallauer (1), rapportées plus haut (p. 122), ont montré que si l'inconvénient est en réalité très-faible, il ne saurait aller jusqu'à se changer en un bénéfice véritable.

Du reste, il est surtout essentiel de formuler sur ce sujet une

(1) Voir aussi le mémoire de Zeuner (*Civil Engineers*, etc., tome XXI).

distinction fondamentale, suivant que la machine est ou non munie d'un condenseur. Si en effet, pour fixer les idées d'une manière simple, malgré ce qu'il y a d'imparfait dans cette hypothèse, nous supposons le vide absolu dans le condenseur, la pression effective ne diffère plus de la pression absolue. Si l'on réduit par l'étranglement la pression de la vapeur de N à n atmosphères, on ne recueillera, il est vrai, que le travail correspondant à cette pression n; mais en même temps le cylindre étant rempli, sous un même volume, de vapeur moins dense dans le rapport $\frac{n}{N}$, si nous admettons la loi de Mariotte, le rendement d'un kilogramme de vapeur ne sera pas changé (pour nous borner à la phase de pleine pression). La machine sera seulement affaiblie comme nombre de chevaux, ce qui est un point de vue tout différent.

Supposons, au contraire, une machine sans condenseur, les pressions motrices effectives deviennent $N-1$ et $n-1$. Le travail s'est donc affaibli dans le rapport $\frac{n-1}{N-1}$, tandis que la consommation l'est encore dans le rapport $\frac{n}{N}$. Le rendement est par suite altéré. Et l'on voit même, pour pousser les choses à l'extrême, que si l'on étranglait la vapeur jusqu'à abaisser sa pression jusqu'à celle de l'atmosphère, en faisant $n=1$, on ne recueillerait plus aucun travail, bien que l'on continuât à faire une certaine consommation, ce qui correspond à un rendement nul.

Il convient en outre de remarquer que l'inconvénient de la résistance due à l'étranglement est atténué par la circonstance suivante. L'énergie perdue sur ce point n'est pas anéantie, mais transformée en chaleur. Or ce ne peut être qu'une bien petite partie de ce calorique qui se perde au dehors par l'intermédiaire des parois. C'est donc dans le sein de la vapeur qu'il se retrouve. Il s'y emploie par suite à volatiliser l'eau entraînée mécaniquement, ou, s'il n'y en a pas une quantité suffisante, à surchauffer la vapeur ; celle-ci se trouve par suite placée dans de meilleures conditions pour son fonctionnement.

Il est préférable du reste, quand il est question d'abaisser par étranglement la pression au-dessous de celle de la chaudière, de produire cet effet aux lumières avec le tiroir, plutôt qu'en amont avec une valve. En effet, avec cette dernière, on n'aura, depuis le premier moment jusqu'à la fin de la pleine pression, que le travail de n atmosphères. Tandis que si la pression est statiquement celle de la chaudière dans la boîte du tiroir, et qu'à l'aide d'une com-

pression parfaite on ait rétabli à la fin de la course précédente une pression égale dans l'espace nuisible, elle sera d'abord N pour les premiers instants, et ne s'abaissera que progressivement jusqu'à *n* par l'état dynamique dû à la mise en marche du fluide à la suite du piston. On aura donc réalisé un certain excédant de travail. Et cependant la consommation sera la même dans les deux cas, car elle se mesure d'après la densité, et par conséquent d'après la pression du dernier instant seulement, celui où l'on coupe la vapeur de manière à isoler la quantité qui fonctionnera dorénavant par sa détente. Or cette pression est égale à *n* dans les deux cas.

Après avoir réduit à sa juste valeur l'inconvénient du laminage, il n'en convient pas moins d'accorder beaucoup d'attention aux moyens proposés pour réduire cet effet. C'est d'autant plus essentiel qu'on ne peut sous aucun prétexte éviter que la section ouverte au passage du fluide ne commence par être égale à zéro, et ne passe par les plus petites valeurs qu'il est possible d'imaginer pour atteindre l'ouverture maximum, quelque grande qu'elle soit. Il en est ensuite de même pour la fermeture. L'essentiel est donc d'opérer le plus rapidement possible ces ouvertures ou fermetures, en s'attachant tout spécialement aux instants extrêmes. C'est ce qu'on demande d'ordinaire aux distributions par soupapes, car celles-ci peuvent être commandées par des ressorts aussi énergiques que l'on voudra, ou par des poids dont l'effet est plus inaltérable que celui de l'élasticité.

M. M. Deprez, revenant aux tiroirs pour ce point de vue spécial, a trouvé le moyen de les manœuvrer dans des temps encore plus courts par la pression de la vapeur elle-même. Comme on peut admettre celle-ci sur des pistons-distributeurs d'une surface aussi grande que l'on voudra, on obtiendra, en leur donnant une masse très-faible, des accélérations aussi grandes que possible qui détermineront la fermeture dans un temps inappréciable. C'est au point que l'inventeur a dû se préoccuper d'amortir le choc par l'interposition de tampons de vapeur, en chargeant ces pistons-distributeurs eux-mêmes de fermer l'échappement de la vapeur qui les actionne avant la fin de leur petite course, pour ménager ainsi une compression.

Un détail fort important de ce système consiste en ce qu'il ne change en rien les habitudes du mécanicien pour la conduite ou la réparation de sa machine. C'est en effet la coulisse de Stephenson qui conduit en définitive les pistons-distributeurs placés au débouché des lumières du cylindre, par l'intermédiaire d'un tiroir

ordinaire qu'elle actionne directement. Ce tiroir présente seulement cette particularité, d'avoir un *recouvrement intérieur négatif* (c'est-à-dire un découvert intérieur) égal à son recouvrement extérieur. D'après cela, il ouvre à l'échappement par son bord intérieur au moment où son bord extérieur affleure à la lumière, en mettant à cheval sur cette lumière le recouvrement extérieur qui précisément lui est égal, c'est-à-dire au moment où dans une distribution ordinaire ce tiroir eût coupé la vapeur pour commencer la détente. Or c'est précisément l'échappement de vapeur ainsi déterminé qui, en déséquilibrant le piston-distributeur, lui fait exécuter avec vivacité le mouvement qui coupe véritablement la vapeur motrice dans le cylindre.

Indépendamment du principe qui consiste à lancer le plus vite possible l'organe d'obturation, il en existe un autre. Pour diminuer les effets du laminage, à égalité de déplacement dans le sens du mouvement du tiroir on lui fait offrir un plus large débouché à la vapeur. C'est, par exemple, ce qu'on obtient en premier lieu à l'aide du *tiroir à grille*, conception déjà ancienne, qui figure, entre autres, dans la distribution Farcot, et a été reprise tout récemment par M. Charles Nollet, de Gand (1). C'est également la propriété du tiroir de Trick, qui, au moyen d'un conduit intérieur puisant la vapeur en avant d'un seuil sur lequel il glisse, double la section totale du passage offert au fluide. L'effet est même quadruplé par des artifices analogues dans les tiroirs de Hanrez et de Allen.

Détente.—Après ce qui concerne l'admission, considérons la détente. L'idéal théorique serait la détente *complète*, pour laquelle la pression tombe exactement à celle du condenseur; mais bien des motifs la font écarter de la pratique. En effet, la courbe de détente, qui offre la plus grande analogie avec une hyperbole équilatère, s'abaisse rapidement vers son asymptote; de telle sorte que, sans ajouter sensiblement à l'aire qui correspond au travail, on allonge beaucoup l'abscisse qui représente le volume, c'est-à-dire l'encombrement, la valeur de la matière première, la perte par rayonnement, la longueur des lumières qui augmente l'espace nuisible, etc. En outre, avec d'aussi longues détentes, on exagère beaucoup les défauts de l'adiabaticité, pour laquelle on ne peut guère compter que sur le peu de durée des échanges de chaleur. Or plus on s'éloigne de l'adiabaticité, c'est-à-dire du cycle de Carnot, qui correspond au coefficient économique maximum, plus on

(1) *Engineer*, 28 mars 1879, page 222.

détériore le chiffre du rendement. Il y a donc un juste milieu à déterminer pour connaître, suivant les circonstances, le degré de détente le plus avantageux. Dans les expériences que j'ai citées (p. 122), M. Hallauer était arrivé à couper la vapeur au cinquième ou au quart de la course dans les moteurs à un seul cylindre. Pour les machines Compound, M. Charles Emery a indiqué (1), pour le meilleur rapport du volume final au volume initial, la formule :

$$\frac{100 P + 269}{154},$$

dans laquelle P désigne le nombre de kilogrammes de pression effective par centimètre carré. Cette question a également fait l'objet des recherches de M. Résal (2) et de M. Ledieu (3).

Hautes pressions ; machine Perkins. — La question du degré de détente se trouve en relation étroite avec celle de la pression dans le générateur. La théorie établit avec évidence l'avantage des hautes pressions, et le courant de la pratique porte beaucoup dans ce sens, particulièrement en ce qui concerne les locomotives.

Je citerai comme un exemple, excessif sans doute, mais caractéristique, et auquel n'a pas manqué un certain succès, la machine de Loftus Perkins (4). La chaudière est tubulaire, à provision d'eau distillée confinée et toujours la même. La pression y a été maintenue au chiffre exorbitant de 27 atmosphères pendant 100 jours de travail continu. Chaque tube est éprouvé individuellement à la presse hydraulique à 280 atmosphères, et tout le système dans son ensemble à 140 atmosphères maintenues pendant dix heures. Il y a économie complète de graissage ; les garnitures sont purement métalliques, composées de 1 partie d'étain et 3 parties de cuivre. Le condenseur est à surfaces, et la pression y tombe à 1 atmosphère 1/2. C'est dans cette enceinte que débouchent les soupapes de sûreté. La détente atteint le chiffre énorme de 32 volumes. On la réalise de la manière suivante. Un premier cylindre

(1) *Engineering*, 5 mars 1875, page 177.
(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXII, page 647.
(3) *Ibidem*, tomes LXXX, page 1199, et LXXXI, page 928.
(4) *Engineer* 1877, tome I, page 390.
Meeting de l'Institution des Ingénieurs mécaniciens. Londres, juin 1877.
Institution of civil Engineers, 7 mai 1878.
The construction of Steam Boilers adopted for very high pressures by Flannery.

renferme une détente au double; il est suivi d'un second cylindre (système Compound) quatre fois plus grand que le premier, puis enfin d'un troisième quatre fois plus grand que le second. M. Perkins *annonce être arrivé* à une consommation de $0^{kg},70$ de charbon par cheval et par heure. Il *affirme qu'il atteindra* le chiffre de $0^{kg},45$. Ces machines ont été adoptées par M. Thorneycroft pour ses remarquables bateaux-torpilles à 430 tours par minute. L'amirauté anglaise a décidé, vers la fin de 1875, la construction d'une machine analogue de 900 chevaux indiqués pour le navire *le Pélican*, à 5 cylindres et 20 atmosphères.

Je dois ces intéressants renseignements, ainsi que beaucoup d'autres relatifs aux machines à vapeur, à l'un de mes anciens élèves les plus distingués de l'École des mines, M. Gustave Richard, ingénieur de la compagnie des chemins de fer du Nord. Il a apporté au dépouillement de nombreux matériaux, pour me permettre de compléter mon travail, un zèle et une entente des parties les plus délicates de la mécanique, dont je tiens particulièrement à lui rendre ici le témoignage.

Échappement. — En ce qui concerne l'échappement, on doit d'abord se préoccuper de l'effectuer par le plus large débouché possible, car il n'y a plus ici pour l'étranglement aucune des compensations que nous trouvions à ses inconvénients en ce qui concerne la vapeur destinée à travailler sur le piston. Pour celle qui a achevé son évolution et qui n'a plus qu'à se perdre dans le condenseur, on arriverait seulement, en l'étranglant, à créer une contre-pression sur le piston qui viendrait en déduction du travail moteur, et qu'il ne faut nullement confondre avec la compression utile succédant à l'échappement, tandis que nous considérons en ce moment la communication libre avec l'extérieur. Cet inconvénient, trop souvent observé dans les anciennes machines, est sans excuse, car on a toutes facilités sous ce rapport en augmentant autant qu'il le faut la largeur des lumières par leur bord *interne.* Cette partie, que ne démasquera pas le tiroir par son bord externe, sera comme non avenue pour l'admission, mais elle dégagera d'autant le départ de la vapeur détendue.

Quant à l'influence utile du condenseur substitué à l'échappement simple, elle est hors de toute contestation. Je me borne à rappeler que, dans les expériences de Mulhouse, M. Hallauer a constaté de ce chef une économie de 43 p. 100.

Compression. — A un certain moment voisin de la fin de la

course, l'échappement se ferme (1), et la vapeur qui reste confinée dans l'espace restant prend une pression croissante. Comme inconvénient, il s'ensuit évidemment un travail résistant qui vient diminuer le rendement. En outre, en exagérant encore l'irrégularité du travail moteur, qui a toujours été en diminuant depuis la pleine pression, et qui devient ainsi négatif, la compression oblige à alourdir un peu le volant pour obtenir un même degré de régularisation. Enfin elle est considérée, en ce qui concerne spécialement les machines d'extraction, comme nuisant à la docilité de ces moteurs, qui sont alors moins bien en main.

Mais à côté de ces faibles inconvénients, la compression réalise d'importants avantages, et l'on doit considérer sa suppression dans quelques machines comme une faute. On appelle *compression parfaite* celle dans laquelle on aurait régénéré exactement dans les espaces libres, une fois à fond de course, la pression de la chaudière. Dans ces conditions, lors du démasquement de la lumière, il n'y a plus aucun choc de la vapeur. Elle se met lentement en marche pour suivre le déplacement du piston, dont la vitesse est nulle au point mort. Si, au contraire, il n'y a pas eu de compression, on commence par une sorte d'écoulement dans le vide qui détermine une immense vitesse, un étirage dont l'importance est en raison du carré de cette vitesse, un choc sur le piston qui se manifeste souvent par un tremblement de toute la machine, un travail *incomplet*, c'est-à-dire dans lequel le fluide *poursuit* en se détendant le point d'application de son action, qui se dérobe devant lui, au lieu de se laisser pousser statiquement avec toute la pression.

En second lieu, la compression tend à réchauffer, vers la fin de la course, les parois refroidies par l'échappement, et cela (il faut bien le remarquer) par l'intérieur, c'est-à-dire d'une manière bien plus directe que ne peut le faire la chemise de vapeur qui agit à l'extérieur.

Il faut aussi observer que, si la compression fait un travail négatif, elle sert du moins par là à arrêter le piston sans mettre en jeu pour cela au même degré l'élasticité de la tige, ce qui permet de réduire un peu la latitude que l'on doit laisser à cette élasticité sous forme d'espace nuisible entre l'extrémité de la course et le fond du cylindre pour préserver celui-ci des chocs.

---

(1) Hallauer : Compression de la vapeur (*Revue universelle des mines et des usines*, 1875, 1er volume, page 628).
Trasenster, *Ibidem*, 1874, 2e volume, page 389.
Compte rendu mensuel, octobre 1875, page 11.

Espace libre. — Cette question des espaces nuisibles est, comme on le voit, en relation étroite avec celle de la compression. Elle ne fait pour ainsi dire qu'un avec elle. C'est encore un des points sur lesquels on s'était fait dans l'origine des idées inexactes, faute d'accorder une attention suffisante à la compression. Ici une distinction fondamentale est nécessaire.

Si l'on suppose en premier lieu l'absence complète de compression, il faut avant tout remplir l'espace libre d'une certaine quantité de vapeur qui, dans la phase de pleine pression, restera sans aucune action, et qui cependant s'ajoute à la consommation. Tout au plus cette vapeur joue-t-elle un rôle propre pendant la détente, en subissant l'expansion pour son propre compte. Mais alors même elle vient par compensation gâter l'effet de la détente de la masse principale de vapeur motrice. En effet, le rapport de détente étant celui du volume engendré pendant la pleine pression à la somme de celui-ci et du volume engendré pendant la détente, l'espace libre vient s'ajouter aux deux termes de la fraction, la rapproche par suite de l'unité, c'est-à-dire l'augmente, et raccourcit ainsi la détente, toutes choses égales d'ailleurs. Aussi ces espaces méritent-ils alors justement le nom qu'on leur donne ordinairement, d'*espace nuisible*.

Mais supposons, au contraire, une compression parfaite : l'espace libre se retrouve alors à chaque course perpétuellement plein de vapeur à la pression de la chaudière, et l'on n'a jamais à lui en fournir, ce qui supprime déjà l'accroissement de consommation. Ce petit stock invariable de vapeur exécute, parallèlement aux cylindrées successives fournies par le générateur, son évolution particulière en se détendant et se recomprimant. Si, de plus, nous supposons la détente complète, il n'y a nulle part de chute de pression, pas plus entre la fin de la détente et le condenseur qu'il n'y en a eu entre le générateur et la fin de la compression. Le stock de vapeur suit donc un cycle réversible à égalité de pression et à travail complet. Ce cycle est représenté par une courbe fermée d'aire nulle, et par suite n'implique aucune production ni consommation de travail (1). Dans ces conditions, l'espace libre est, comme

(1) Ce théorème a été démontré par Zeuner pour la détente adiabatique et étendu par M. M. Deprez à une loi quelconque, pourvu qu'elle soit la même pour la compression et pour la détente. Il semble qu'on puisse supprimer de ces savantes démonstrations tout calcul en raisonnant de la manière suivante :

Suivons par la pensée le stock de vapeur dans toute son évolution. Pendant la pleine pression, il suit le piston poussé par derrière par la vapeur d'admission qu'il précède, mais il ne subit aucun changement d'état. La figure représen-

on voit, devenu inoffensif, ou, pour être plus vrai (car nous raisonnons pour des conditions trop absolues qui ne sont pas exactement celles de la réalité), ses inconvénients sont beaucoup atténués, ce qu'il faut encore enregistrer ici comme un dernier avantage de la compression.

Il y aura d'ailleurs, pour chaque machine, un degré pratiquement préférable de compression (1), sans aller toujours jusqu'à la compression parfaite ; de même que, sans atteindre la détente complète, on a dans chaque cas un degré de détente plus avantageux que tout autre, en raison de circonstances accessoires négligées dans les aperçus trop absolus qui précèdent.

Ajoutons, du reste, qu'au moyen de perfectionnements très-intéressants les constructeurs sont arrivés à réduire considérablement les espaces libres. Par un artifice analogue à celui de la machine pneumatique de M. Blanchi, on a essayé de doubler intérieurement les fonds du cylindre en caoutchouc. Les saillies du piston s'y impriment sans qu'il en résulte de vide pour tout l'espace compris entre elles, lequel reste rempli par le caoutchouc. On fait également ainsi la part éventuelle des dilatations et même de l'eau de condensation, si les purgeurs ne l'évacuent pas à temps. La question de la conservation du caoutchouc dans de telles conditions reste seulement des plus douteuses.

---

tative, dans laquelle on prend pour abscisses les volumes et pour ordonnées les pressions, reste donc un point fixe M_1. Pendant la détente, que je suppose *pour un moment* effectuée sans échange de chaleur, il y a changement d'état représenté par la courbe adiabatique M_1M_2, entre la pression initiale p_1, qui est celle de la chaudière sous le volume v_1 de l'espace libre d'une part, et la pression finale p_2, égale à celle du condenseur dans l'hypothèse de la détente complète et le volume v_2 du stock ainsi détendu d'autre part. Actuellement le piston revient en arrière en balayant la cylindrée dans le condenseur, et ramenant derrière elle le stock détendu. Celui-ci subit donc encore un déplacement géométrique, mais non un changement d'état. La description représentative de son évolution reste donc immobile sur le point M_2 (v_2, p_2). Puis vient la compression, que je suppose également effectuée sans échange de chaleur. Ce changement sera donc représenté par l'adiabatique M_2M_1, qui remonte de l'état actuel v_2, p_2 à la pression p_1 de la chaudière, puisque la compression est parfaite, et au volume v_1 de l'espace libre. C'est donc le cycle sans épaisseur $M_1M_2M_1$ qui représente la totalité de l'évolution.

On remarquera du reste avec soin que si nous avons parlé ici de détente et de compression adiabatiques, c'est uniquement *pour fixer le langage*, et que le raisonnement reste absolument le même pour une loi *quelconque*, mais *déterminée*, pourvu qu'elle soit *la même* pour la détente que pour la compression.

(1) Mac Farlane Gray, *Institution of naval architects*, 1874. *Engineering*, 15 janvier 1875.

Il est encore une autre partie de l'espace nuisible que l'on s'est préoccupé de réduire : je veux parler des lumières. On a commencé par subdiviser le tiroir et le remplacer par deux demi-tiroirs placés aux extrémités, de manière à réduire la lumière à la traversée directe de l'épaisseur. Cavé a même poussé plus loin le perfectionnement, en employant quatre tiroirs au lieu de deux (1). On sépare ainsi complétement les fonctions de l'admission et de l'échappement dans des conduits spéciaux, qui sont d'après cela soumis chacun à une température fixe, et non à ces incessantes variations qui facilitent les condensations. Si le cylindre est horizontal, on doit avoir soin de placer les ouvertures d'échappement à la partie inférieure, ce qui purge à chaque coup le cylindre de l'eau de condensation qui tendrait à s'y accumuler.

Résultats économiques. — On est arrivé, en ce qui concerne les consommations, à des résultats de plus en plus remarquables. La marine obtient couramment le chiffre de $1^{kg},1$ de charbon par cheval et par heure, et même $0^{kg},9$ dans les essais plus soignés (2). Les machines Corliss, de l'Exposition universelle, brûlaient 1 kilog., et celles que M. Farcot a construites pour la ville de Paris à Asnières atteindraient, paraît-il, le chiffre extraordinaire de $0^{kg},6$ (3).

On est arrivé aujourd'hui à ne consommer en même temps que $7^{kg},5$ à 9 kilog. de vapeur par cheval et par heure, au lieu des 12 à 15 kilog. que l'on employait naguère (4). M. Hirn considère le chiffre de 54 kilogrammètres par calorie contenue dans la vapeur comme la meilleure utilisation actuelle avec des pressions de 5 à 6 atmosphères et la surchauffe. Ce chiffre correspond à un *rendement définitif* de 12,70 p. 100 (5). MM. Scheurer-Kestner et Meu-

---

(1) C'est ce qu'on a imité depuis avec quatre soupapes ou quatre robinets.

(2) Dupuy de Lôme. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXVIII, page 458.

(3) Tresca, *Ibidem*, page 465.

(4) Expériences sur la vaporisation (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, tome VI, page 646).

Clarck : Évaporation des chaudières (*Proceedings of civil Engineers*, tome XLVI).

Puissance évaporatrice des charbons allemands (*Zeitschrift für Berg, Hütten und Salinenwesen*, tome XXV, page 62).

Havrez : Évaporation (*Annales du génie civil*, septembre 1876).

Denter : *Traité des chaudières*.

(5) *Exposition analytique et expérimentale*, etc., tome II, page 119.

Report on horizontal and tubular boilers. Philadelphie, 1868 (*Engineering* 1877, page 80).

nier ont trouvé (1), comme moyennes de quatorze séries d'expériences, la répartition suivante du calorique :

Calories de la vapeur	62,50
Calories emportées par les gaz	5,00
Calories qui eussent pu être retirées par une combustion complète des gaz non brûlés	6,00
Calories qui eussent pu être retirées par la combustion du noir de fumée	0,50
Calories employées par l'eau de la combustion des hydrocarbures.	3,00
Calories perdues par le rayonnement	23,00
	100,00

La légèreté des machines a fait également de très-grands progrès. Nous sommes bien loin de l'époque où l'on comptait 400 et 500 kilog. par force de cheval. Le chiffre le plus remarquable à cet égard a été atteint par les machines des baleinières Thorneycrofft, qui ne pèsent pas plus de 33 kilog. par force de cheval, en y comprenant les chaudières, le condenseur et même l'eau d'alimentation (2). Il s'en faut du reste encore de beaucoup que la pratique courante approche de ce chiffre.

La vitesse du piston, que Watt fixait à 1 mètre, ne devrait pas excéder 2 mètres dans les moteurs industriels. Mais les machines marines dépassent parfois 3 mètres, et certaines locomotives ont atteint 6 mètres par seconde. Le nombre de tours a été poussé, dans certains cas spéciaux, jusqu'à 300 et 400 par minute. La relation de ces deux éléments dépend de la longueur du cylindre. Les grandes courses se recommandent par l'atténuation proportionnelle de l'espace nuisible qu'il faut laisser derrière les faces du piston ; mais elles tendent à exagérer la vitesse de ce dernier pour un même nombre de tours.

§ XII. — Organes de la distribution.

Tiroirs équilibrés. — On voit tous les jours s'accroître la puissance des moteurs à vapeur, et par suite la difficulté que le mécanicien éprouve à manœuvrer les organes de distribution pour modifier la détente ou renverser la marche. De là l'introduction d'artifices spéciaux dont il nous faut dire d'abord quelques mots.

Un premier moyen concerne l'action directe de l'homme. Il

(1) Aguillon, *Compte rendu mensuel*, juin 1876, page 21.

(2) Système Compound, 6 atmosphères, 430 tours, 1^{k},6 de charbon par cheval et par heure (De Fréminville, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome IV, page 109).

consiste à diminuer simplement la résistance à vaincre, c'est-à-dire la pression sur le dos du tiroir, en l'équilibrant par quelque action inverse. Le principe des tiroirs équilibrés remonte à Watt lui-même. Je rappellerai également les anciens systèmes de Paltrinieri, de Bedmer, Cochot, Walker, Dawis (1), qui reliaient au tiroir, à l'aide d'une courte bielle, un piston se mouvant dans un sens perpendiculaire et supportant par-dessous un effort sensiblement égal, quoique un peu moindre.

Le dispositif le plus en vogue paraît être celui des tiroirs à piston. M. Jobin l'a à peu près renouvelé du tiroir en D de Watt, avec quelques modifications qui ont leur importance. M. Head l'emploie avec des pistons sans garniture munis de rainures transversales, d'après un système bien connu en ce qui concerne les pistons moteurs.

M. Adams applique contre le ciel de la boîte à vapeur une sorte de cuvette élastique qui presse sur le dos du tiroir, en y supprimant sur une étendue notable le contact de la vapeur. M. Jaffrey a eu recours à un procédé analogue sur le navire *City of Richmond* (2). On peut citer de même les tiroirs compensés de Mouraille (3), Dawes et Holt (4), Outridge (5).

Dans la distribution de MM. Taylor et Weatherhogg (6), la tige du tiroir s'implante dans cet organe en forme de coin, qui tend à le soulever lorsqu'à l'aide d'une vis on la force du dehors à y pénétrer davantage. On détermine ainsi une force en antagonisme avec la pression exercée par la vapeur sur le dos du tiroir.

Les Américains emploient le tiroir à galets. La glace, en métal doux, présente deux ornières dans lesquelles se meuvent des galets d'acier qui, par leur roulement, suppriment le frottement de glissement. L'adhérence et l'étanchéité ne sont pourtant pas détruites, car le métal ne peut s'user que par cette adhérence même. Le frottement n'existe pas non plus, car il suppose une pression mutuelle qui userait de suite le métal doux. De là une sorte de balance un peu paradoxale entre deux effets qui semblent s'exclure. L'expérience a cependant paru sanctionner ces vues.

---

(1) Spineux : *Traité des distributions*, planche XIV.
Ledieu : *Nouvelles machines marines*, planche V.
Engineering 1873, page 514.
(2) *Engineering* 1875, page 364.
(3) Ledieu : *Nouvelles machines marines*, planche V, figure 9.
(4) *Ibidem*, figure 10.
(5) *Ibidem*, figure 11.
(6) *Engineering* 1876, page 169.

L'équilibre s'obtient plus aisément encore avec les tiroirs circulaires, autrement dit les robinets (voir p. 145). On peut citer à cet égard le tiroir Schivre (1), assez usité en Belgique. Les distributions par soupapes s'équilibrent aussi avec facilité. Au siége Collard, de Seraing, le mécanicien renverse facilement la distribution par soupapes avec le seul levier de changement de marche, sans toucher au régulateur.

Cylindre auxiliaire; servo-moteur. — Dans un principe opposé, on accepte les résistances à vaincre, et l'on cherche seulement à venir en aide pour cela à la force musculaire du mécanicien.

Sous ce rapport, on sait avec quel succès le changement de marche à vis a été introduit dans les locomotives. On l'a plusieurs fois essayé sur les moteurs d'extraction, où il a été jugé d'abord défavorablement. Cependant, depuis quelque temps, certaines applications ont paru plus heureuses, et la question doit tout au moins être réservée. On a objecté la possibilité d'une sorte d'engourdissement du bras, en raison de ces rotations perpétuelles dans les deux sens, beaucoup plus répétées pour les manœuvres si rapides du trait dans les mines que pour la conduite des locomotives.

Un moyen plus décisif, pour le cas des plus grandes résistances, consiste dans l'adjonction d'un cylindre auxiliaire qui apporte au machiniste le secours irrésistible de la force même de la vapeur (2). Ce principe a pris naissance dans la marine militaire, à cause des dimensions exceptionnelles de ses moteurs. Il s'est répandu depuis dans les machines de mines à Nœux, à Montrambert, au Grand-Hornu, à Mariemont, etc.

Un obstacle se présentait toutefois pour la réalisation de cette idée si simple. La vapeur, une fois admise, poussera évidemment à fond le piston, et par suite ne semble apte qu'à produire le renversement de la rotation, et non la marche aux divers crans de détente. On y a obvié en déterminant avec exactitude la puissance auxiliaire de telle sorte qu'à elle seule elle soit insuffisante pour vaincre la résistance, tout comme le serait par lui-même l'effort du bras de l'homme, tandis que les deux influences réunies

(1) Notice sur la machine d'extraction à distribution de vapeur équilibrée, par Schivre (*Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1876).

Etude sur les tiroirs équilibrés, système Schivre, par Sohier. 1877, Mons, chez Manceaux.

La houille, 13 juillet 1876.

(2) *Revue universelle des mines et des usines*, 1876, page 188.

arrivent à surmonter l'obstacle. Le mécanicien, pouvant suspendre à l'instant qu'il veut son propre effort, rend par cela seul l'autre impuissant. Mais comme cette combinaison exige une précision assez étroite, tandis que la résistance de la distribution peut varier sensiblement avec diverses circonstances, notamment le graissage, M. de Quillacq compose le secours apporté au machiniste de la différence de deux forces, à savoir la puissance surabondante de la vapeur dans le cylindre auxiliaire et la résistance de l'eau dans un circuit fermé, où elle est actionnée par un autre piston monté sur la même tige dans un second cylindre, résistance qu'il est très-facile de modifier à volonté à l'aide d'un robinet d'étranglement.

La *vis neutre* très-employée déjà dans la marine (1) joue un rôle analogue. La tige du piston auxiliaire est creuse et sert d'écrou à une vis dont l'inclinaison est tellement déterminée qu'elle ne lui permet pas de se laisser entraîner par la traction longitudinale de la vapeur, mais que le moindre moment de rotation imprimé par la main du machiniste déterminera la naissance du mouvement relatif dans lequel le piston agira sur la distribution, non-seulement d'après l'effort insignifiant exercé par le mécanicien, mais avec toute la puissance de la vapeur. Dès que la main de l'homme cessera de tourner la manivelle, la traction redevenue impuissante laissera immobile le système dans la position qu'il aura atteinte.

M. Joseph Farcot a fait faire à cette question un pas décisif par la création de son servo-moteur (2). Il désigne sous ce nom un appareil dans lequel, par cela seul que le mécanicien abandonne le mouvement qu'il a réussi à produire en engageant l'action de la vapeur dans le cylindre auxiliaire, le fluide, bien loin de persister dans son influence motrice, ou même de rentrer dans l'état passif comme dans le système précédent, se constitue aussitôt en antagonisme pour éteindre la force vive du mécanisme, afin de l'arrêter court dans la position où il a été amené et abandonné par la volonté du mécanicien. Ce principe a été réalisé, du reste, au moyen de divers dispositifs. Il commence à se répandre sur les puits de mines. On le trouve, par exemple, au puits Neyron, des houillères de Saint-Étienne (3), à la fosse Renard n° 2, de la compagnie d'Anzin, à la fosse n° 5, de Trazegnyes (Mariemont) (4), etc.

---

(1) Stevart : Changement de marche aidé par la vapeur (*Revue industrielle des mines et des usines*, tome XL, page 68, et 1876, page 101).

(2) *Le servo-moteur ou moteur asservi*, Joseph Farcot, 1873, chez Baudry. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXX, page 1470.

(3) *Compte rendu mensuel*, décembre 1876, page 7, et février 1877, page 20.

(4) Ledieu : *Traité des nouvelles machines marines*, planche V, fig. 14 et 15.

Distribution elliptique. — Après les moyens employés pour agir à volonté sur le mécanisme de distribution, envisageons ce mécanisme lui-même. Malgré toutes les innovations qui se font jour à chaque instant, l'ancien tiroir pur et simple à avance et recouvrement conserve une faveur qui ne paraît pas destinée à disparaître. Ce n'est pas cependant qu'il ne présente des inconvénients dont le principal consiste dans la connexion absolue de toutes ses phases qui sont fonctions l'une de l'autre, lorsqu'on emploie pour le manœuvrer la commande ordinaire à l'aide d'un excentrique. Dans ces conditions, quand on a disposé de l'une des périodes à volonté, il faut accepter le retentissement de ce choix sur toutes les autres.

M. M. Deprez a cherché, tout en conservant la simplicité du tiroir lui-même, à pallier cet inconvénient. On conçoit facilement *à priori* que si, supprimant par la pensée toute commande mécanique, on arrivait à conduire soi-même à la main le tiroir, on pourrait (puisqu'on ferait absolument ce qu'on voudrait) insister sur les phases avantageuses, réduire presque à rien celles qu'on jugerait nuisibles, et modérer strictement au degré utile celles qui, fâcheuses en elles-mêmes à certains points de vue, sont cependant indispensables pour d'autres raisons sous peine de laisser naître des inconvénients plus grands encore. Cela posé, quand on aurait arrêté ainsi le meilleur programme de marche pour le tiroir, ou, si l'on veut, l'équation qui exprime cette relation entre l'angle de la rotation de la manivelle et l'élongation du tiroir à partir de sa position moyenne, on peut ensuite concevoir la création d'un système mécanique convenablement disposé pour la réaliser. Or M. M. Deprez a, d'une part, imaginé une relation analytique spéciale dont il a reconnu les nombreux avantages et, en second lieu, il a fait connaître un mécanisme qui la réalise. C'est en cela que consiste, à proprement parler, sa *distribution elliptique* (1) que je vais essayer de faire comprendre.

Le tiroir est alors mû par un arbre tournant qui décrit des angles θ' reliés à ceux θ de l'arbre moteur par l'équation

$$\tang \theta' = m \tang \theta,$$

dans laquelle il est entendu que le *module m* est essentiellement supérieur à l'unité, et du reste arbitraire. Remarquons tout

(1) Combes : *Etudes sur la machine à vapeur*, page 77.
Dwelshauvers Dery, *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXIV, page 172.
Fouert-Norbert, *Revue industrielle*, 2 août 1876.

d'abord que les moyens de réalisation ne manquent pas, car cette formule n'est autre que celle qui exprime rigoureusement la relation de deux arbres réunis par un joint hollandais. Tel n'est pa cependant le système de commande employé pratiquement par M. Deprez et je ne le cite ici que pour mémoire. En réalité, cet ingénieur se sert d'un bras tournant à rainure rectiligne dans laquelle se trouve engagé un bouton de la bielle motrice. On obtient ainsi la relation en question, non plus à la vérité d'une manière rigoureuse, mais avec une approximation parfaitement suffisante.

Il ne nous reste donc plus qu'à discuter cette équation pour mettre en évidence tous les avantages qu'elle présente. Il est clair qu'il suffit pour cela d'envisager une course simple, c'est-à-dire de faire varier θ de zéro à 180°. Dans le premier quadrant, θ est un angle aigu, tang θ et par suite tang θ' sont positives, par conséquent θ' est lui-même aigu et la formule montre alors que $\theta' > \theta$. Le tiroir atteint donc plus vite ses positions dans ce système qu'avec la commande ordinaire. Dans le second quadrant, au contraire, θ est obtus, tang θ et par suite θ' sont négatives. Par conséquent θ' est également obtus. Sa tangente restant d'ailleurs plus grande *en valeur absolue* que celle de θ, on a alors $\theta' < \theta$. Donc dans le second quadrant le tiroir retarde sur sa marche ordinaire et il atteint plus tard ses positions. Cette double remarque va nous suffire.

Si l'on veut, en premier lieu, une courte admission, ce sera une phase du premier quadrant, qui sera par suite abrégée. Donc avec des éléments égaux à ceux du mode ordinaire on arrivera à raccourcir davantage l'admission. Même remarque pour les très-longues admissions qui, pénétrant dans le second quadrant, sont encore allongées par le nouveau système. Cet avantage sera précieux dans les machines d'extraction où l'on pourra pour les manœuvres se mettre, sinon en pleine pression, du moins à de très-longues admissions avec un moindre déplacement des tiroirs par la main du mécanicien, ce trajet se trouvant raccourci à la fois par ses deux extrémités. C'est ainsi qu'on peut avec un tiroir de dimensions ordinaires faire varier l'admission de 20 à 90 p. 100 de la course, tandis que le mode usuel ne permettrait pas de dépasser 75 p. 100.

Dans le système ordinaire la détente et, après elle, l'échappement anticipé sur une face en même temps que la compression sur l'autre, durent pendant des rotations égales qui ont pour valeur l'angle de calage. Si donc on a voulu, en vue de l'économie, allonger la détente, il se trouve que par cela seul on a augmenté du

même angle les deux autres périodes qui ne sont cependant utiles qu'à la condition d'être très-restreintes et deviennent rapidement nuisibles si on les exagère. Mais avec le système elliptique, comme la compression et l'échappement anticipé sont les phases finales de la course et qu'elles commencent par suite dans le second quadrant, on voit que ce commencement sera retardé. On arrivera donc à les raccourcir sans être obligé d'employer pour cela le recouvrement intérieur qui, du reste, destiné dans l'origine à diminuer l'échappement anticipé avait précisément pour résultat d'augmenter encore la compression. Cet avantage sera surtout intéressant dans les machines d'extraction, où la compression exagérée nuit, comme nous avons eu occasion de le dire, à la docilité de l'appareil.

Il me serait un peu plus difficile de faire comprendre en peu de mots que l'élongation maximum se trouve diminuée pour les longues admissions aboutissant dans le second quadrant, c'est-à-dire lorsque cette ouverture en grand est le plus notable. On trouve à cela l'avantage de restreindre d'une part le travail du frottement et, en outre, d'être moins exposé à voir pour certaines dimensions du tiroir la communication s'ouvrir entre le générateur et le condenseur. Pour les petites admissions au contraire qui sont limitées dans le premier quadrant, on peut reconnaître que l'élongation maximum se trouve augmentée, et ceci même est encore alors un bien, car cet excès de petitesse risquerait d'un autre côté d'exagérer l'étranglement.

Mais le principal avantage du système elliptique consiste précisément dans cette question de l'étranglement dont nous avons vu que l'influence réside essentiellement dans les premiers instants du démasquement. Les angles θ et θ' sont alors tellement petits que l'on peut, sans inconvénient, les confondre avec leurs tangentes en écrivant simplement

$$\theta' = m\theta.$$

Mais le piston n'a alors parcouru, à partir du point mort, que la longueur $1 - \cos\theta$ ou approximativement $\frac{\theta^2}{2}$. Il est donc m^2 fois moins avancé que s'il eût commandé directement le tiroir à la manière ordinaire pour l'amener à la même position, car alors sa manivelle aurait dû décrire θ' et non θ. Il aura par conséquent pour un même démasquement de la lumière appelé à lui m^2 fois moins de vapeur. La vitesse de celle-ci se trouvera ainsi réduite dans le rapport de 1 à m^2, et la perte de charge qui est propor-

tionnelle à son carré aura diminué dans le rapport de 1 à m^4 qui varie avec une très-grande rapidité quand on augmente le module arbitraire m.

Une machine fixe de 25 chevaux construite il y a plusieurs années d'après ces principes consommait par cheval et par heure $1^k,85$ de charbon à 23 p. 100 de cendres. Une locomotive du Nord, après avoir parcouru 30.700 kilomètres avait dépensé en moyenne $8^k,15$ par kilomètre, tandis qu'avant son adaptation au système elliptique, elle brûlait $10^k,10$ par kilomètre.

L'idée de faire conduire la distribution par un arbre distinct de l'arbre moteur, a du reste été employée en dehors de la question de la détente elliptique. Dans certaines machines marines de M. Dupuy de Lome, comme aussi dans celles du type Maudslay, on arrive à renverser la marche en montant l'excentrique sur un manchon qui est assemblé par un pas de vis très-incliné à l'arbre des tiroirs, et tiré par le piston du cylindre auxiliaire du changement de marche. La rotation relative ainsi déterminée a pour effet de renverser le calage.

Coulisse Deprez — M. M. Deprez a associé la distribution elliptique à un mode de relevage de son invention qui est remarquable par cette circonstance, que tandis qu'on ne craint pas de multiplier indéfiniment les articulations dans certains appareils récents, celle-ci ne comporte qu'un excentrique et une seule articulation pour marcher à un cran de détente déterminé. Je vais essayer d'en donner une idée.

Marquons pour cela sur une figure un point A que nous prenons sur le prolongement de la manivelle motrice de l'autre côté de l'arbre O; sur la tige du tiroir nous marquons de même un point B. Réunissons ces deux points par une sorte de compas ACB formé de deux branches égales AC = BC articulées entre elles en C. Cela posé, concevons que l'on figure arbitrairement les positions OA_1, OA_2, OA_3,... de la manivelle qui peuvent être particulièrement intéressantes pour les changements de phases dans la distribution de la vapeur. Nous mettrons *à la main* le tiroir dans les positions B_1, B_2, B_3,... que nous désirons alors lui voir prendre pour le meilleur fonctionnement possible. Rien ne s'y oppose dans la liaison qui vient d'être établie. Seulement il arrivera par là que la tête du compas sera amenée dans certaines positions déterminées C_1, C_2, C_3,... Connaissant dès lors le lieu géométrique de ces positions, réalisons-le *à priori* par une rainure métallique $C_1C_2C_3$,... dans laquelle nous engagerons l'articulation C du compas. On sera

assuré d'après cela, que quand la manivelle passera par les positions en question A_1, A_2, A_3,... le tiroir se trouvera nécessairement à celles B_1, B_2, B_3,... que l'on a voulues pour lui. Seulement, on s'exposerait avec ce mode de commande à une grande dureté. Or il arrive en pratique que la courbe $C_1C_2C_3$,... diffère très-peu d'un arc de cercle ayant un certain centre D, et par suite un rayon DC. On réalisera donc *très-approximativement* la distribution demandée, en même temps qu'on évitera la dureté dont je viens de parler, si on relie simplement par une bride DC la tête C du compas au point fixe D.

Actuellement concevons qu'après avoir étudié ce mode de distribution, ou, suivant l'expression consacrée, ce cran de détente, on en veuille réaliser un second différent. En répétant le même procédé on sera conduit à un nouveau centre D' avec une bride D'C, qui généralement n'aura pas la même longueur que DC. De là naîtrait une complication fâcheuse pour la réalisation effective. Mais si l'on remarque qu'il suffit ordinairement, au lieu d'une série nombreuse de positions B_1, B_2, B_3,... du tiroir, de ne s'occuper que des deux instants B_1 et B_2 où l'on veut couper la vapeur, la courbe $C_1C_2C_3$,... que nous avons considérée comme un cercle, ne sera plus déterminée que par deux points C_1 et C_2. Il s'ensuit que l'on restera maître de disposer du rayon de ce cercle, et par suite de lui conserver une longueur constante D'C = DC. Il suffira donc pour passer de la première marche à la seconde, de faire en sorte que le centre fixe D puisse être déplacé en D' en continuant à se servir du même lien DC.

Pour une troisième, pour une quatrième... marches, on conservera toujours cette même bride DC = D'C = D''C = D'''C,... avec des centres fixes nouveaux D'', D''',... On voit dès lors que pour les réaliser il suffirait encore d'engager le point fixe D en guise de coulisseau dans une rainure présentant la forme de la courbe ainsi trouvée DD'D''D'''... Mais cette fois-ci encore on se contente pour plus de simplicité de déterminer le cercle de centre E et de rayon ED qui s'approche le plus de l'arc DD'D''D''',... et alors il suffit d'établir une barre de relevage ED pivotant sur le centre absolument fixe E, et amenée par un système de relevage quelconque dans les diverses positions ED, ED', ED'',... caractérisant les diverses marches que l'on a voulu réaliser.

Ajoutons enfin que le compas, que j'ai imaginé pour faciliter l'explication, n'existe pas en réalité. A sa branche BC, qui relie l'extrémité C de la pièce AC à un point B de la tige du tiroir, on substitue une coulisse circulaire pratiquée sur cette tige autour

du point B et avec le rayon BC, ce qui revient exactement au même. De plus la pièce AC elle-même est constituée par la queue d'un collier d'excentrique, qui a pour centre de courbure le point A pris sur le prolongement de la manivelle motrice de l'autre côté de l'arbre O. On voit dès lors que l'on n'a plus pour le fonctionnement normal à un cran déterminé, ainsi que nous l'avions annoncé, qu'un seul excentrique A et une seule articulation C.

Un avantage essentiel de cette solution est d'assurer la parfaite égalité des deux admissions, directe et rétrograde, indépendamment de l'influence de l'obliquité. Cela est évident puisqu'on dispose absolument des instants B_1 et B_2 où l'on coupe la vapeur.

Un autre avantage consiste à avoir les avances à l'admission parfaitement constantes, encore bien, ainsi qu'il a été expliqué qu'on ait renoncé dans la détermination de la courbe $C_1C_2C_3C_4$,... à se servir des instants C_3 et C_4 qui caractérisent ces avances, pour n'employer que C_1 et C_2. Cependant les avances n'en sont pas moins constantes. En effet, l'avance à l'admission se mesure au point mort, lorsque la manivelle OA est sur l'alignement même de la tige du tiroir en un point que j'appellerai A_0. A cet instant le compas est replié sur lui-même et refermé, CA_0 coïncidant avec CB. En effet, on a $CA = CB$; or B ne quitte pas la ligne droite de la tige; le point mobile A s'y trouve pour le moment en A_0; si donc B ne coïncidait pas avec A_0, on aurait deux obliques égales CB et CA_0 menées d'un même point C à une droite et d'un même côté, ce qui est impossible. On voit donc que le tiroir B se trouve toujours dans la même position A_0 pour le point mort de la manivelle, quelle que soit le cran de marche D, D′, D″... C'est précisément ce qui constitue la constance des avances.

M. Chodzko a publié (1) une étude théorique intéressante dont les résultats s'appliquent à ce genre de distribution.

Distributions par robinets. — Toute distribution suppose naturellement un organe qui se meut aux environs de l'ouverture pratiquée dans une paroi. Ce mouvement peut être normal ou tangentiel à cette paroi. S'il est normal, on obtient les *soupapes*. S'il est tangentiel, trois sortes de surfaces seulement, d'après une loi géométrique nécessaire (2), peuvent être employées pour ce glissement : les cylindres, les surfaces de révolution et les sur-

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, p. 381.
(2) Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, page 64.

faces hélicoïdales. La complication de cette dernière solution l'empêchera toujours de figurer dans la pratique. Il ne reste donc que les deux autres. La première fournit les *tiroirs* proprement dits, à translation rectiligne, et la seconde les tiroirs circulaires ou *robinets* amenés d'une rotation sur leur axe de figure. Les robinets sont donc plus rapprochés par leur nature des tiroirs ordinaires que les soupapes.

En fait, les réparations sont plus difficiles avec ces organes qu'avec les tiroirs plats. Les tiroirs circulaires figuraient depuis longtemps dans la détente Meyer modifiée par Ryder (1).

Ils ont pris une grande extension avec les machines Corliss et Ingliss, trop connues pour qu'il soit nécessaire d'y insister longuement. La forme du bâti Corliss reliant immédiatement le palier au cylindre et ne posant que par ses deux extrémités, les quatre distributeurs séparés pour l'admission et l'échappement suivant le principe de Cavé, le disque oscillant qui fournit des manœuvres presque instantanées pour ouvrir et couper l'admission, tels sont ses traits principaux (2).

La machine Brotherhood commence aussi à se répandre (3). On en rencontre par exemple dans les mines du Banat. Elles sont à trois cylindres réunis dans un plan horizontal à 120° l'un de l'autre. Les pistons, à simple effet, toujours ramenés vers le centre par la vapeur et repoussés à fond de course les uns par les autres pendant l'échappement, sont reliés à la manivelle par des bielles à articulations libres. On a réalisé ainsi des vitesses de rotation de plusieurs centaines de tours et même jusqu'à 800 tours par minute. Ces moteurs se prêtent, d'après cela, très-naturellement à actionner de petits ventilateurs.

M. Musil a de son côté construit des machines dont la distribution se fait à l'aide de robinets d'une forme spéciale (4). Le moteur Wheelock qui figurait dans l'exposition américaine, présente également quatre robinets distributeurs. Dans la machine Radin-

---

(1) C'est elle précisément qui figure dans la machine d'extraction du puits le plus profond qui soit au monde, le puits Adalbert, de Przibram (*Lecture de John Fell à l'Institution des ingénieurs-mécaniciens*. Bristol, juillet 1877).

(2) Tresca, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXVIII, page 465.

Corliss valve diagrams by Prœll and Sharowsky (*Proceedings of the Institution of civil Engineers*, tome LVI).

Verhandlungen des Vereins zur Beforderung der Geverbfleisses, 1879, page 102.

(3) Meurgey, *Compte rendu mensuel*, février 1877, page 25.

(4) Rossigneux, *Compte rendu mensuel*, février 1878, page 64.

ger (1), deux robinets concentriques ont un mouvement différentiel réglé par le régulateur à boules. Citons encore la machine à simple effet, compound ou non compound, de Thomas C. Watt (2), que l'on voyait au Champ-de-Mars en 1878, celle de Conti, certains moteurs d'extraction du grand Hornu, de Lescarpelle, etc.

Le tiroir plat tournant est un cas particulier du type qui nous occupe. Il date d'Edwards, et avait été dans l'origine peu employé, mais il a repris faveur. On le trouvait à l'Exposition de Vienne dans le moteur Scheller et Berchtold (3). Il figure encore dans la curieuse machine de West de six cylindres à simple effet (4), remarquable par l'extrême douceur de sa marche à grande vitesse.

Distributions par soupapes. — Les distributions par soupapes sont très-anciennes, mais elles ont pris beaucoup de vogue dans ces derniers temps. On leur reproche de fausser leurs siéges par le choc, tandis que les tiroirs tendent au contraire à les polir par le frottement. Les fuites ainsi produites perdent ensuite de la vapeur, et cela aussi bien dans le repos qu'en mouvement. M. Audemar propose pour éviter cet effet un petit joint en caoutchouc (5), et recommande les portées étroites et bombées. Sous ce rapport, la fonte dure a été reconnue supérieure au bronze pour former les siéges. Cet habile ingénieur cite des machines « dont les soupapes ont battu vingt-neuf millions de coups sans avoir subi la moindre altération » (6). Ce sont, du reste, des soupapes *accompagnées* par l'organe de commande, qui ne les quitte pas et les manœuvre d'une manière tout aussi rapide, mais avec une attaque et une retombée moins brutales.

Il faut également reconnaître comme un défaut des soupapes que si un corps étranger s'engage au-dessous d'elle il est simplement martelé, tandis qu'un tiroir le chasserait du premier coup.

L'avantage le plus caractéristique des soupapes, comme je l'ai dit plus haut (p. 128), est l'extrême rapidité qu'elles permettent d'atteindre dans la fermeture des lumières sous l'empire de ressorts énergiques ou de poids considérables. De plus, les jeux de fer

(1) *Engineering*, 15 mai 1874.
(2) *Ibidem*, 9 août 1878, page 118.
(3) Dwelshauvers Dery, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXIV, page 147.
(4) *Engineering* 1875, 1er volume, page 28.
Echo des mines et de la métallurgie, 1877, page 5.
(5) *Compte rendu mensuel*, octobre 1876, page 11.
(6) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1878.

les manœuvrent à des instants absolument arbitraires et dégagés des relations mutuelles inévitables entre les diverses phases d'une distribution par tiroir et excentrique. On peut obtenir ainsi des admissions indéfiniment courtes. Dans quelques cas on a combiné l'emploi des soupapes pour l'admission et des tiroirs pour l'échappement, qui ne comporte pas les mêmes exigences. Les soupapes offrent également d'assez grandes facilités pour équilibrer la pression de la vapeur, et leurs mécanismes de changement de marche présentent beaucoup de docilité. Les réparations sont moins coûteuses et plus rapides qu'avec les tiroirs ; leur visite est très-facile.

Tout le monde connaît la solution donnée par M. Audemar à l'aide de sa double came et d'une soupape spéciale de détente (1). Je rappelle également celle qui porte le nom de distribution de Krafft, ou détente de Seraing, qui emploie la came et quatre soupapes de distribution mues directement par elle. Je citerai aussi, sans entreprendre de la décrire, à cause de sa complication, la détente Brown qui figurait à l'Exposition (2). On y a également remarqué la machine d'extraction de M. de Quillacq (du type Sulzer de Winterthur) analogue à celles qu'il a déjà construites pour les mines d'Aniche, et celle que M. Sulzer lui-même exposait dans la section suisse (3).

MM. Biétrix et Considère se sont également acquis une juste réputation dans la réalisation des distributions à soupapes. Ils ont essayé dans les ateliers de la Challéassière un artifice qui ne doit être passé ici sous silence. L'un des inconvénients ordinaires des soupapes consiste en ce que leur tige doit nécessairement traverser la paroi pour subir au dehors l'action du mécanisme et manœuvrer la soupape dans l'intérieur de la boîte à vapeur. Si la garniture est serrée, on s'expose à des frottements qui nuisent à la rapidité de la manœuvre. Si elle est lâche, elle donne lieu à des fuites. M. Considère y remédie de la manière suivante. La paroi présente une sorte d'ajutage rentrant très court sur lequel est assemblé un tube de caoutchouc, qui paraît du reste placé là dans des conditions assez précaires. Il est à son extrémité assemblé au bout d'arbre qui traverse le tuyau suivant son axe. A l'extérieur, le mécanisme imprime à cet arbre des oscillations sur lui-même, et

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, mars 1870, et 2e série, tome II, page 569.

(2) Ledoux, *Compte rendu mensuel*, septembre 1878, page 185.
Engineering, 14 juillet 1878, page 475.
The Engineer, 24 mai 1878, page 365.

(3) *The Engineer*, 30 août 1878, page 154.

à l'intérieur il agit sur la soupape pour la soulever ou la laisser redescendre. On voit qu'il ne subit nulle part aucun frottement. Le caoutchouc seul est appelé à se tordre un peu dans le mouvement, et la fermeture est absolument hermétique.

Moteurs d'extraction. — L'un des progrès les plus importants qui aient été introduits récemment dans les machines d'extraction est l'emploi de la détente. Cette question n'a pas encore dit son dernier mot. Il arrive souvent que l'appareil de détente existe, et qu'en fait le mécanicien le cale pour éviter une complication et marche en pleine pression. Certains progrès sont donc sans doute encore nécessaires; mais la question d'économie, qui prend une importance croissante, maintiendra ce sujet à l'ordre du jour. Une étude toute récente de M. Griot (1) vient de formuler à cet égard des chiffres intéressants. Il ne faut pas se dissimuler d'ailleurs, sous le rapport de l'économie, que la quantité de vapeur perdue par les manœuvres sur les clichages a une importance du même ordre et à laquelle on n'accorde pas d'ordinaire beaucoup d'attention.

Il n'y a pas, du reste, que l'économie qui puisse motiver l'introduction de la détente. Il arrive souvent qu'une machine est établie avec un excès de force, soit afin de pouvoir au besoin enlever sans équilibre en cas de rupture du câble, soit en vue d'un réavalement ultérieur du puits. Dès lors il faut, pour le service courant, ou bien baisser la pression dans le générateur, ce qui constituerait une marche anti-économique, ou bien recourir à la détente.

Dans tous les cas il est nécessaire de pouvoir rétablir la pleine pression aux recettes et aux envoyages intermédiaires, afin d'avoir la machine mieux en main pour les manœuvres, et d'éviter que, l'un des cylindres se trouvant près du point mort, l'autre puisse avoir sa lumière bouchée par le recouvrement, ce qui exposerait à ne pouvoir démarrer.

Quant à la réalisation pratique de la détente, on a le choix entre trois principes : la détente à la main, la détente au régulateur, et la détente automatique. On peut citer comme exemples de la première les appareils d'Audemar et de Krafft; ou encore l'emploi pur et simple de tiroirs suffisamment équilibrés, comme l'a fait M. Heusser au puits Sainte-Hortense de Lalle; ou enfin la détente Rossigneux (2) qui, du reste, peut aussi être rendue à volonté

(1) *Compte rendu mensuel*, avril 1879, page 84. On consultera également avec intérêt la note de M. Martin (*Ibidem*, juillet 1879, page 157).

(2) *Compte rendu mensuel*, mars 1878, page 62.

automatique. Ce premier mode offre évidemment les avantages que l'on peut attendre de l'intervention raisonnée de l'homme, qui apprécie les effets à produire. Mais d'un autre côté le mécanicien a déjà une énorme responsabilité, une attention toujours soutenue et par cela seul fatiguée. On doit chercher à éviter d'y ajouter aucune autre préoccupation. En outre, les machinistes répugnent d'ordinaire à l'emploi de la détente, si on ne les y attache pas par une surveillance étroite ou par des primes proportionnées aux économies de combustible.

En ce qui concerne la détente au régulateur dans les moteurs d'extraction, on peut citer comme exemples la machine Beer de Sarts au Berleur (pays de Liége), celle de Bède Farcot de la mine de Dour, la machine Sulzer-de-Quillacq de l'Exposition universelle, avec régulateur Porter (1), la détente Zublin de Dampremy (Sacré-Madame), pour laquelle l'appareil à boules est remplacé par un régulateur hydraulique. Le régulateur à force centrifuge met de lui-même en pleine pression, par la chute de ses boules, pour les manœuvres lentes des extrémités. A la vérité, le ralentissement qui précède l'arrêt présente ce contre-sens d'augmenter l'admission; mais c'est sans inconvénient parce que le régulateur-valve est alors fermé. Il est toutefois nécessaire de mettre à la disposition du mécanicien un moyen de caler le régulateur à boules lorsque, pour un motif quelconque, il veut marcher en pleine pression pendant toute la durée de l'ascension. D'une manière générale du reste et, en dehors de l'extraction des mines, la détente automatique réglée par le régulateur a pris un grand développement dans l'industrie. On ne peut naturellement commander ainsi que des organes relativement légers, principalement des distributions à déclic. Le régulateur doit être puissant, et le volant largement suffisant pour l'uniformisation de la période; sans quoi un régulateur trop susceptible serait dans un état d'agitation perpétuelle. On a pu arriver ainsi à de très-grandes vitesses, comme dans la machine Greenwood et Batley de l'Exposition universelle (2), et celle d'Allen, de 350 tours et 24 chevaux (3).

Lorsqu'on emploie la détente automatique, on peut encore choisir soit une détente fixe, qui sera en général d'un tiers ou de moitié, soit une détente variable, de manière à égaler à chaque

(1) *Engineering*, 28 février 1879, page 178.
The Engineer, 25 octobre 1878, page 299.
Compte rendu mensuel, juillet 1879, page 157.
(2) *Engineering*, 6 septembre 1878, page 189.
(3) *Ibidem*, 7 février 1879, page 116.

instant le travail moteur aux variations de la résistance. Je citerai comme exemples du premier mode la détente Scohy (1) ou celle de Bource (2). Quant au second principe, il est représenté par le bel appareil de M. Guinotte, très variable du reste quant aux détails, et qui a été l'objet de nombreuses et intéressantes publications (3).

En ce qui concerne le choix entre ces deux dernières manières de voir, on peut sans doute admettre que, pour peu qu'un appareil d'extraction soit à peu près équilibré par l'un quelconque des systèmes que nous avons rencontrés à cet égard (page 73), une détente fixe du degré convenable sera préférable par sa simplicité, et pour éviter les inconvénients que présente le système Guinotte pour l'extraction à des étages successifs, les réavalements de puits, les modifications de l'enlevage, etc. Or cet équilibre approximatif s'obtient aisément avec les câbles d'aloès. Pour les câbles métalliques, et surtout pour l'acier, on a contre soi deux circonstances défavorables : d'une part, la moindre épaisseur du câble plat, qui produit une régularisation peu active, et en outre le grand rayon que l'on donne à l'estomac dans le but de ne pas fatiguer le câble. Les excès sous ce rapport ont parfois donné naissance à des appareils dont le moment varie énormément, et devient même négatif aux extrémités. Alors la machine se lance avec une vitesse que l'on est obligé de combattre par la contre-vapeur. Mais c'est là un état de choses qui expose visiblement aux plus graves dangers. M. Dombre, en reconnaissant ces inconvénients, ne craint pas cependant l'emploi de ce moyen. Il propose (4) l'emploi du tube d'inversion ordinaire pour les pressions élevées, et croit suffisant, pour les pressions moyennes, des tubes à air froid. Cette question

(1) *Notice sur la détente Scohy*, 1870. Mons, chez Manceaux.

(2) Timmermanns, *Machines d'extraction*, 1877. Bruxelles, chez Ramlot, page 52.

(3) *Etude générale sur la détente variable dans les machines d'extraction*, par L. Guinotte, 1871. Mons, chez Manceaux.

Annales industrielles, janvier 1874.

Étude sur les distributions par tiroirs dans les machines d'extraction, et en particulier sur le système Guinotte, par Herdner (*Annales des mines*, 1877).

Dwelshauvers Dery, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXXIV, page 160.

Machine à vapeur d'extraction du système Guinotte, par Petau (*Publication industrielle d'Armengaud*, 1876).

Chansselle, *Compte rendu mensuel*, septembre 1876, page 21.

Timmermans, *Étude sur les machines d'extraction à détente*, pages 36 et 50. Bruxelles, chez Ramlot.

(4) Dombre, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, page 809.

prendra plus d'importance encore dans l'avenir, avec les grandes profondeurs qui conduiront à des rayons d'enroulement excessifs pour conserver une vitesse modérée du piston, tout en évitant une trop longue durée de l'enlevage.

Moteurs d'épuisement. — Les vieilles machines du type de Cornouailles ont fait depuis longtemps leurs preuves et continuent à former la solution la plus ordinaire pour l'épuisement des mines. La plupart du temps elles sont à un seul cylindre; d'autres fois, comme dans la magnifique pompe Saint-Laurent du Creusot, à ce premier cylindre on en fait succéder un second pour la détente, suivant un modèle qui avait été imaginé à la Vieille-Montagne, il y a une vingtaine d'années, dans le but d'uniformiser l'influence de la détente sans de trop grandes masses en mouvement. Il y a là en effet, sous ce rapport, un fait général qui a beaucoup contribué à détériorer les beaux rendements, autrefois classiques pour ces appareils, malgré les progrès incontestables qui ont été apportés dans le détail de la construction. Avec une longue détente, il faut une attaque énergique pour créer en peu de temps une force vive à l'aide de laquelle le système achèvera sa course, lorsque la détente aura affaibli l'action motrice jusqu'à la rendre inférieure à la résistance à vaincre. Or, avec les profondeurs toujours croissantes, l'importance des masses en mouvement rend de plus en plus dangereuses les grandes vitesses, et celles-ci sont nécessaires pour avoir de la force vive. La vitesse maximum tendant à se restreindre, il a donc fallu en même temps raccourcir la détente, et par suite marcher dans des conditions moins économiques.

M. Wilner a introduit dans les machines d'épuisement à traction directe un perfectionnement (1) qui consiste dans l'introduction d'un levier coudé relié par deux bielles à la tige du piston moteur d'une part, et à la maîtresse tige. Il arrive ainsi à faire varier pendant la course les moments de l'action de la vapeur et du poids, de manière à pouvoir employer des détentes prolongées en réduisant les masses en mouvement et conservant un cylindre unique.

La machine à double effet a évidemment sur le moteur à simple effet l'avantage qu'en répartissant le travail de la vapeur sur les deux courses on peut réduire à moitié le volume du cylindre. On

---

(1) Aguillon : Progrès accomplis dans l'art des mines depuis l'Exposition de 1867 (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VIII, page 63).
Leverrier, *Compte rendu mensuel*, 1er avril 1876, page 15.

peut également pousser plus loin la détente, à cause de la présence du volant dans la machine de rotation, qui corrige les variations de la force. De plus, le principe de la rotation limite géométriquement la course, tandis que dans les machines à cataracte cette excursion n'est pas déterminée d'une manière nécessaire, et l'on peut avoir des chocs sur les arrêts, pour le moindre défaut d'équilibre entre les forces mises en jeu. On gagne ainsi sous le rapport de l'espace nuisible. Mais, en revanche, il est juste de dire que l'intermittence des appareils à cataracte assure bien mieux la retombée des soupapes et l'extinction des vibrations.

Un premier mode d'emploi de ces machines consiste à les installer au fond. C'est ce qu'on voit, par exemple, dans les mines de Blanzy (1), Roche et Firminy, Méons, la Chazotte, Bességes, Fohnsdorff (2), Ontario (Utah) (3), Érin près Dusseldorff (4), etc. Cette dernière est double et accouplée à deux machines hydrauliques jumelles.

L'installation intérieure présente des avantages assez séduisants. Elle encombre beaucoup moins le puits, qui ne renferme plus alors que les colonnes élévatoires. Elle supprime les maîtresses-tiges, l'attirail, le matériel des répétitions, car on élève alors l'eau d'une seule volée jusqu'au jour. De là une économie de premier établissement, une diminution des chances d'avaries, une plus grande facilité pour les réparations. Mais, par contre, les machines intérieures prêtent à des objections très-sérieuses. Elles peuvent être maîtrisées et noyées par une crue, qui éteint les feux et laisse l'exploitation absolument désarmée. Il faut tout au moins, pour obvier à cette éventualité, disposer de très-grands réservoirs de retenue pour un moment de crue, ce qui n'est pas réalisable dans toute mine. La roche peut également manquer de la solidité nécessaire pour l'établissement de grandes chambres de machines. En outre, tout le monde est d'accord sur l'inconvénient des chaudières intérieures, et si, pour les éviter, on veut envoyer la vapeur du jour par le puits des pompes, on tombe dans d'autres inconvénients.

Pour ces motifs, on accorde de plus en plus d'attention aux types de machines à double effet installées à la surface, création relativement récente. Le problème consistait à n'exercer sur les

---

(1) A Sainte-Marie : hauteur : 356 mètres, diamètre : $0^m,20$, débit : 4.000 mèt. cubes en 20 heures. (Aguillon : Progrès accomplis dans l'art des mines (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VIII, page 65).

(2) *Berg und Hüttenmannisches Jahrbuch von Leoben*, tome XXIV, p. 311.

(3) *Engineering*, 1876, 1er volume, page 267.

(4) *Ibidem*, 2e volume, page 239.

maîtresses-tiges que des tractions, et jamais le refoulement par la vapeur. On ne peut en effet, sous peine de faire flamber ces pièces, leur imposer le mode foulant autrement que par leur propre poids. Des systèmes fort ingénieux de contre-poids ont permis de résoudre cette difficulté. C'est au puits Gewalt (Westphalie) qu'a été installée en 1864, par Ehrardt, la première machine d'épuisement à double effet (1). Le poids de la tige est égal à celui de la colonne d'eau. Le contre-poids est égal à la moitié de cette valeur. La vapeur agit directement, non pas sur la tige, mais sur le contre-poids, à l'aide d'une bielle ordinaire dont le peu de longueur permet le refoulement. Dans la course ascendante (en négligeant pour cette explication les résistances passives), le moteur enlève la moitié du poids de la tige, puisque le contre-poids qui s'abaisse équilibre l'autre moitié. La tige travaille alors par traction. Dans la course descendante, la vapeur relève le contre-poids en laissant descendre la tige, qui est équilibrée par l'ascension de l'eau. Elle ne la foule que par son poids, suivant le mode ordinaire, et n'est pas pressée par la vapeur. Le travail de ce fluide est donc bien le même dans les deux courses.

Dans la solution française du même problème, l'attirail n'est plus tout à fait le même que dans le système allemand. Le contre-poids égale le poids de la tige, plus la moitié de celui de l'eau élevée. Dans la course ascendante, la tige est tirée et foule l'eau par-dessous à l'aide de plongeurs ascendants. La vapeur enlève la tige, plus l'eau, moins le contre-poids, et ce trinôme se réduit, d'après la valeur de ce dernier, à la moitié du poids de l'eau. Dans la course descendante, la tige descend sans traction ni refoulement, et la vapeur remonte le contre-poids : d'où une différence d'action encore égale à la moitié du poids de l'eau.

M. de Quillacq et son ingénieur principal, M. Martin, ont contribué à réaliser ce principe et à le répandre, en France et en Bohême principalement (2), dans un type de machines compound à double effet et à traction directe. Les deux cylindres y sont verticaux et superposés. Dans les machines d'épuisement à distribution différentielle de Davey (3), les deux cylindres ont encore le même axe, mais ils sont horizontaux et installés sur le même bâti, ce qui

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, tome VII, page 801.

(2) Pernolet, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, t. V, p. 391. *Annales des mines*, 6e série, tome VIII.

(3) Baure, *Compte rendu mensuel*, juin 1876, page 9. *Engineering* 1875, 1er volume, page 169, et 1876, 2e volume, page 239.

donne plus de stabilité. Je citerai comme exemple celle des houillères de East Hetton Durham (1). La dénomination de *distribution différentielle* provient de ce que, dans ces machines comme dans celles de Cope et Maxwell (2), le mouvement du tiroir est dû à la différence de deux autres, dont l'un est constant et réglé par une cataracte, et le second variable, d'après une relation que l'on établit avec la vitesse des plongeurs (3).

De puissants moteurs à double effet ont été établis également sur le type rotatif et non plus avec la traction directe. Je citerai sous ce rapport les machines d'Ahun (Lavaveix-les-Mines), dues à MM. Biétrix et Revollier. Elles sont jumelles et actionnent deux tiges au moyen d'engrenages. A Trets (Bouches-du-Rhône), les mêmes ateliers de la Challéassière ont monté deux machines d'épuisement analogues. Par le fait elles ne sont pas installées au jour mais à 60 mètres de la surface, attendu qu'à ce niveau on disposait d'une galerie d'écoulement. Cependant cette circonstance spéciale ne modifie pas notre distinction essentielle, car ces machines ne s'en trouvent pas moins au sommet de l'ascension de l'eau. Ces appareils sont du type compound, actionnant deux manivelles croisées à 90°. Les conditions sont analogues à celles de Lavaveix. Je citerai encore les appareils d'épuisement à double effet de Bleyberg et de Sarts au Berleur, établis par les ateliers de Seraing (4), ainsi que la machine compound à rotation des salines de Segeberg dans le Schleswig-Holstein (5). On a beaucoup remarqué la machine du Chêne établie pour la société des houillères de Saint-Étienne par les ateliers de Lhorme (6), auxquels on doit également la belle machine de Saint-Éloy (7). Deux moteurs horizontaux à détente variable par le régulateur sont couplés à angle droit sur l'arbre du volant. Deux pignons conduisent des roues dentées munies de boutons de manivelle qui par de longues bielles commandent les tiges. Les boutons sont diamétralement opposés, pour que

---

(1) *Engineering* 1875, tome II, page 403.
(2) *Ibidem*, 1676, tome II, page 57.
(3) Un artifice analogue figure dans la pompe à vapeur de Blake, par la superposition de deux tiroirs dont l'un a un mouvement déterminé et l'autre est actionné plus ou moins tôt suivant l'allure (*Engineering*, 9 juillet 1875, page 37).
(4) *Portefeuille de John Cockerill*, tome III.
(5) *The Engineer*, 6 avril 1877.
(6) *Lettres d'un Stéphanois sur l'Exposition universelle*, par Laur, p. 211. Saint-Étienne, 1879, chez Théollier.
Bulletin de la Société de l'industrie minérale, 2e série, tome V, page 38.
(7) *Engineering*, 11 octobre 1878, page 294.

l'aspiration et le refoulement se correspondent inversement d'une pompe à l'autre. De petites bielles actionnent les balanciers de contre-poids.

M. Kley a cherché à remédier à l'un des principaux inconvénients des machines de rotation, qui est de ne pouvoir, quand cela devient nécessaire, marcher doucement sans risquer de s'arrêter au point mort, malgré l'augmentation du moment d'inertie des volants, qui est d'ailleurs fâcheuse par elle-même. La machine Kley (1) est à la fois à volant et à cataracte. Son jeu est intermittent. Le volant, très-léger, ne sert qu'à régulariser la course et s'arrête après chaque tour, jusqu'à ce que le fonctionnement de la cataracte remette le système en marche. Les choses sont disposées pour que l'arrêt ne s'effectue pas sur le point mort de la manivelle. Un moteur de ce système fonctionne à la mine de plomb de Neue Hoffnung dans l'Eifel, et les ateliers de la Meuse, à Liége, en ont établi plusieurs autres pour la société de la Vieille-Montagne.

Il faut citer de même les machines d'épuisement du système Guinotte dans lesquelles on modifie l'action du volant suivant la vitesse que l'on veut donner aux pompes (2).

§ XIII. — Types spéciaux de machines à vapeur.

Machines compound. — L'un des courants d'opinion les plus marqués du mouvement actuel est celui qui introduit le type compound à peu près dans tous les genres d'applications. On rapporte à Hornblower (1781) la première idée de l'addition d'un cylindre spécial de détente. Les appareils qui le renferment portent encore aujourd'hui le nom du premier constructeur, Woolf (1804), qui les ait réalisés. La dénomination de compound, qui en devient à peu près synonyme dans l'usage, désigne cependant plus spécialement les machines dans lesquelles un réservoir est rendu nécessaire par les conditions de la distribution entre le premier cylindre et les autres. On a, en effet, parfois plus de deux cylindres, et on en a vu jusqu'à cinq.

En se bornant à deux cylindres, on rencontre bien des dispositifs différents. Quelquefois on assemble les tiges des pistons à une potence dont la tige est reliée au balancier. Les hauteurs des cylindres sont alors égales, les diamètres seuls diffèrent. D'autres fois, les tiges sont rattachées individuellement au balancier, et les courses

---

(1) Crozet, *Compte rendu mensuel*, 5 mai 1877, page 40.
(2) Baure, *Compte rendu mensuel*, mars 1878, page 55.

sont inégales. Plus rarement on les met de part et d'autre de l'axe du balancier, afin de soulager les coussinets, qui supportent alors la différence et non la somme des efforts moteurs. Quand la machine est sans balancier, on actionne parfois, à l'aide des deux tiges, deux manivelles croisées à angle droit pour éviter les points morts. On a mis aussi les deux cylindres l'un sur l'autre suivant un même axe vertical, ou l'un au bout de l'autre sur un même axe horizontal. On a également placé le petit cylindre dans l'intérieur du grand. Cette disposition a été employée, par exemple, dans les moteurs d'épuisement du lac de Harlem, suivant un même axe. Elle se voit aussi, mais avec des axes rectangulaires, dans les machines Claude Jobert (1).

Un type très-original a été proposé par M. Max Westphal, et fonctionne dans les ateliers Hoppe à Berlin (2). Le cylindre est *unique*, mais il renferme trois pistons que je désignerai dans l'ordre de leurs situations par A, B, C. A et C sont manœuvrés par une tige unique α qui entre par le fond a et s'attache à A, et qui en même temps se bifurque au dehors, contourne le cylindre et vient rentrer par le fond opposé c en forme de tige *creuse* α' pour s'adapter à C. A et C marchent donc solidairement. Quant à B, il est sollicité par une tige *pleine* β engagée à l'intérieur de α' qui lui sert de fourreau. Les tiges α et β commandent des manivelles distinctes, et la distribution se fait par des excentriques convenables, la pleine pression, ainsi qu'*une certaine détente*, s'exerçant entre le fond a et le piston A (ou entre c et C d'après le double effet) et la détente *complémentaire* s'effectuant par le passage du fluide de ce compartiment dans l'espace qui règne entre A et B (ou entre C et B). Dans ces conditions l'espace compris entre B, et A ou C, varie d'après la *somme* des vitesses des pistons, ce qui permet une plus grande rapidité *cinématique* de la variation de l'espace offert à la détente, sans y employer une aussi grande vitesse *dynamique* de la masse des pistons, avec les inconvénients que son excès pourrait entraîner. Tel paraît être le but de cette création compliquée, mais dans tous les cas ingénieuse.

Les avantages du système compound, envisagé d'une manière générale et indépendamment du dispositif employé, sont nombreux

---

(1) *L'Aéronaute*, juin 1879, page 152.

(2) Westphal (*Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 1878, p. 344). Daniel Adamson, *Journal of iron and steel Institute*, août, septembre, octobre 1875.

Journal des mines, 1878, page 261.

et importants (1). En premier lieu, l'effet est régularisé, et par suite le volant peut être diminué. En effet, au lieu que, comme dans les machines ordinaires, la détente succède simplement à la pleine pression, elle commence ici dès le point mort pour une partie au moins de la vapeur engagée.

L'effort total est réparti sur deux pistons et par suite fractionné entre deux tiges, et cela d'une manière d'autant plus rapprochée de l'égalité que la grande pression agit sur le petit piston et réciproquement.

Les fuites de vapeur autour des pistons se trouvent diminuées, attendu que la chute de pression entre la chaudière et le condenseur se fractionne en deux, pour passer de la pleine pression à la détente et de celle-ci au condenseur. Il en est là absolument comme pour les doubles portes ou les doubles fenêtres que l'on emploie dans les appartements pour empêcher les courants d'air.

La chemise de vapeur, si on l'applique au petit cylindre, fonctionne d'une manière plus rationnelle qu'à l'ordinaire, car elle n'échauffe qu'une enceinte qui ne communique jamais avec le condenseur, tandis que dans les moteurs ordinaires elle cède sa chaleur même pendant l'échappement, ce qui est en pure perte. De plus les produits de la condensation intérieure sont eux-mêmes moins importants, puisque la paroi ne communiquant jamais avec le condenseur est beaucoup moins refroidie. Il arrive même qu'elle cède de la chaleur à la vapeur qui la quitte et va travailler par la détente dans le grand cylindre au contact de parois refroidies (2). Aussi, malgré l'opinion d'ingénieurs éminents qui placent, comme nous venons de le dire, la chemise de vapeur autour du petit cylindre, des expériences de M. Hirn, ainsi que de MM. Loring et Émery (3), concluent à la mettre sur le réservoir intermédiaire ou sur le second cylindre.

En fait, on obtient presque toujours une économie importante sur le combustible avec le type compound. Les expériences de MM. Loring et Émery ont accusé un avantage qui se chiffre parfois par 15 à 20 p. 100 sur les machines simples. M. de Fréminville,

(1) Ledieu, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXVIII, page 1003.

(2) M. Hirn a donné une excellente analyse du rôle des parois dans les machines compound (*Exposition analytique de la théorie mécanique de la chaleur*, tome II, page 33).

(3) *Engineering*, 1er janvier, 12 et 19 février 1875, 18 février 1876, 1er, 15, 22, 29 juin 1877.

Journal of Franklin Institute, février et mars 1875.

dans sa remarquable étude sur ces moteurs (1), indique même une amélioration de près de moitié par rapport aux anciennes machines de la marine.

En opposition avec ces avantages si considérables, on peut indiquer quelques inconvénients : c'est d'abord l'encombrement. La machine ordinaire équivalente à une compound emploierait évidemment son grand cylindre, car c'est lui qui mesure le volume occupé par le poids considéré de vapeur au degré d'expansion voulu. Le petit cylindre se trouve donc en plus. Et du reste cela se conçoit facilement, puisque l'appareil, au lieu de contenir à la fois deux cylindrées, l'une dans la phase de pleine pression ou de détente, et l'autre dans la période d'échappement, en renferme par le fait trois : la première en pleine pression, ou détente propre, la seconde en détente complémentaire, et la troisième dans la phase d'échappement. Or l'encombrement dans un moteur quelconque est nuisible par la place occupée, la matière première engagée, les poids augmentés, ainsi que les frottements qui en sont la conséquence. Dans les machines thermiques, il l'est en outre par les défauts d'adiabaticité qui dépendent de l'étendue des surfaces. Sous ce rapport donc il semblerait y avoir un grand désavantage à faire fonctionner ainsi la vapeur au contact d'une surface notablement augmentée. Mais il faut remarquer que comme le défaut d'adiabaticité a pour second facteur les différences de température entre le fluide et la paroi, ce n'est pas précisément la surface totale dont il faut se préoccuper, mais bien la somme des produits de ses divers éléments par les différences de température correspondantes. Or nous avons vu que ces différences sont atténuées avec le dispositif actuel pendant toute la durée du fonctionnement. C'est pour ce motif que l'on trouve en fait plutôt de l'avantage sous ce rapport, malgré l'exagération des surfaces.

En ce qui concerne spécialement l'application des compound à l'industrie des mines, on leur a reproché, comme machine d'épuisement, l'excès même d'une de leurs qualités, à savoir la régularisation qu'elles procurent, comme nous l'avons dit tout à l'heure. Car, dans les appareils d'exhaure, on trouve utile d'avoir un ralentissement aux points morts pour laisser mieux éteindre la force vive et les vibrations. Ce degré de lenteur y rappelle, quoique de loin, l'intermittence des machines à simple effet. On emploie même souvent dans ce but des volants qui seraient jugés avec raison in-

(1) De Fréminville, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome IV, page 637.

suffisants dans toute autre circonstance, car ils laissent ralentir la vitesse et ne font qu'assurer tout juste le passage des points morts. Cette idée est juste au fond, mais il y aurait sans doute exagération à y voir une critique sérieuse de ce genre d'application.

Il n'en est pas de même pour les moteurs d'extraction qui donnent lieu à une objection plus importante. En effet, avec une machine à un seul cylindre, le mécanicien, avec son régulateur et son levier de changement de marche, est complétement maître de la quantité de vapeur qu'il juge à propos d'admettre en vue des manœuvres délicates qu'il doit effectuer; mais avec les machines de Woolf, la cylindrée qui se détend entre les deux pistons échappe à l'action du machiniste. Elle complique les prévisions qu'il a à faire, et cette sorte de jugé instinctif auquel il lui faut parvenir par l'habitude. Il peut donc y avoir sous ce rapport des mécomptes et même des accidents. Ceci est tellement vrai, que pour une fonction toute semblable, celle des machines de la navigation fluviale des grandes villes, à escales très-répétées, on a été amené à renoncer à l'emploi de compound qui avaient été installées sur certains bateaux.

En revanche, on trouverait dans l'application de ce système aux appareils d'extraction cet avantage, que, si une machine a été calculée en vue de la profondeur actuelle d'un puits destiné à un réavalement futur, et s'il arrive qu'elle devienne insuffisante en raison de sa longue détente, une fois cet approfondissement effectué, on aura la ressource de la transformer en un système de deux machines jumelles à un seul cylindre, marchant chacune avec une détente convenable. Il existe même dans la marine de semblables machines, qu'on appelle compound mixtes (1), pour lesquelles une sorte de commutateur permet de passer à volonté d'un des deux modes à l'autre, suivant que l'on se trouve dans les conditions ordinaires ou en présence d'un coup de collier à donner.

Machines oscillantes. — Cette élégante solution, imaginée par Murdock en 1785, rendue pratique par Cavé vers 1825, a eu beaucoup de vogue, même comme machine d'extraction, quoique cette application particulière soit à déconseiller. On l'emploie encore aujourd'hui dans un certain nombre d'usines. Elle constitue en effet un moteur robuste, assez simple, de peu d'entretien, utile surtout quand on a de la vapeur en excès, comme dans les forges,

(1) *The Engineer*, 1876, tome II, pages 255 et 272.

où l'on peut utiliser pour la vaporisation des flammes qui seraient perdues sans cela. Mais elles ne sont pas économiques pour le combustible proprement dit. MM. Fournier et Levet en ont tout récemment proposé un nouveau type (1), qui a l'avantage de tenir très-peu de place, mais présente des espaces nuisibles assez notables, et quelques difficultés pour la mise en train et le passage des points morts.

Machines rotatives. — Ce type, dont la première idée remonte jusqu'à Watt (1783), a toujours beaucoup sollicité l'imagination des inventeurs. Je citerai parmi eux : Behrens, Bishop et Rennie, Borie, Braconnier, Davies Jonah et George de Tipton, Deck, Dudgeon, Dundonald, Eve, Galloway, P. Martin, Minary, Molard, Murdock, Myers, Napier, Olivier, Pecqueur, Petau, Sudlow, Thompson, Yule, etc. (2). Ces moteurs présentent en effet, en principe des avantages séduisants : suppression de toute la partie encombrante, tige, bielle, manivelle, et des frottements correspondants ; plus de rentrée périodique de la tige, après qu'elle est allée se refroidir au dehors ; mouvement continu plus favorable au point de vue des vibrations, de la résistance des pièces et de la grande vitesse de rotation ; suppression des points morts et régularisation du moment moteur qui permet d'alléger le volant. Mais en revanche la question des fuites, plus difficiles à éviter que dans les types ordinaires, et l'influence condensante des parois placées dans de mauvaises conditions, ont toujours paralysé dans la pratique les qualités que je viens d'énumérer. En fait, la tendance actuelle se détourne plutôt de ces appareils, dont la plupart consomment 5 à 6 kilog. de houille par cheval et par heure.

Machines à piston-tiroir. — Dans certains types de moteurs on a introduit plusieurs cylindres accouplés, qui ont chacun un piston, mais pas de tiroir spécial. Le mouvement du piston dans l'un effectue la distribution dans l'autre. On peut citer dans cette catégorie la *machine-tombeau* de Hicks à quatre cylindres, le moteur Clough à trois cylindres, celui de Willans également à trois cylindres à simple effet. Dans ce dernier les cylindres sont parallèles au lieu d'être convergents comme dans la machine Brotherhood

(1) Holtzer, *Compte rendu mensuel*, décembre 1878, page 265.
Levet, *Ibidem*, mars 1879, page 52.

(2) On trouve dans la *Cinématique* de Reuleaux (Paris 1877, chez Savy) l'étude géométrique de plusieurs types de machines rotatives et à disque.

(p. 146), qui présente d'ailleurs avec elle de l'analogie. Leurs bielles actionnent trois coudes placés sur l'arbre dans des plans méridiens inclinés à 120° les uns sur les autres. Il est à craindre que ces types, fort curieux au point de vue cinématique, en poursuivant la simplicité par la suppression de pièces classiques, n'aient introduit, en revanche, des complications redoutables pour des appareils dont la première qualité doit être une très-grande sûreté d'action.

Machines diverses. — L'appareil *à réaction* constitue le type le plus ancien de machine à vapeur, puisqu'il remonte, sous le nom d'éolypile, à Héron d'Alexandrie. Il avait reparu dans ce siècle sous la dénomination de turbine à vapeur, pour être presque aussitôt abandonné. Il vient encore d'être repris par M. Ruthven, par M. William Gorman (1), et tout récemment par M. Averseng (2), qui fait passer la vapeur à travers une série de roues à aubes courbes. Cet inventeur y voit l'avantage de supprimer les garnitures des appareils à pistons. Cette manière de voir ne pourrait arriver à modifier l'impression généralement reçue que par la production de résultats expérimentaux positifs.

M. Siemens a exposé à Vienne, sous le nom de *bouteille* (3) un moteur destiné à serrer du plus près possible les conditions idéales de la théorie, c'est-à-dire à faire suivre à la vapeur des parois qui soient autant que possible partout à la même température qu'elle, cette température variant du reste, bien entendu, le long de ce parcours. Pour la maintenir fixe en chaque point, il s'agissait de constituer un état permanent et non un régime alternatif comme dans les machines ordinaires. L'appareil est fermé. Il marche à l'eau distillée, et sans incrustations. L'ensemble présente à peu près la forme d'une grande bouteille, dont l'axe est incliné sur l'horizon et pris dans des coussinets. A l'intérieur on lui assemble d'une manière invariable une hélice. Cet organe est mis en mouvement par la vapeur qui se forme au fond de la bouteille au-dessus du foyer et s'élève jusqu'à la partie supérieure. Là elle s'engage dans un grand serpentin réfrigérant dont les spires sont disposées en sens inverse de celui de l'hélice. La rotation de l'appareil ramène donc dans la bouteille l'eau de condensation. Elle redescend

---

(1) Macquorn Rankine : *Manuel de la machine à vapeur*, traduit par Richard, p. 565.

(2) *Journal des mines*, 1878, page 261.

(3) *Revue industrielle*, 4 février 1874, page 9.

Dwelshauvers-Dery, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXXV, p. 1.

sur la paroi interne jusqu'à la partie inférieure, où elle se vaporise de nouveau pour recommencer son évolution.

M. Bourdon a proposé un moteur fondé sur l'emploi de son tube spiral aplati. Il en met successivement l'intérieur en communication avec la chaudière et avec l'échappement, et ces alternatives déterminent des déformations de la section transversale qui produisent un déplacement des extrémités emmagasiné par les bielles d'un arbre tournant.

M. Regge (1) a formulé une invention dans laquelle il est difficile de voir autre chose qu'un appareil de pure curiosité. C'est une machine fermée comme les deux précédentes. Elle marche par l'alcool. Trois tubes en Z sont articulés sur un axe horizontal. Supposons l'un d'eux placé à la partie supérieure de sa rotation. Il y est maintenu contre tout retour en arrière par un déclic, mais rien ne s'oppose à sa marche en avant. Celle-ci sera provoquée par l'échauffement du liquide renfermé dans l'une des branches située au-dessus d'un foyer de chaleur. La vapeur qui se produit chasse le liquide dans l'autre branche. Le centre de gravité se trouve alors en porte-à-faux et fait chavirer le tube, qui tombe, en surmontant par le travail de la pesanteur la résistance à vaincre, et imprimant en outre un choc aux deux autres tubes, de manière à faire remonter le premier à la place qu'il vient lui-même de quitter. Tout recommence alors, et pendant ce temps le tube qui nous occupait se refroidit, et la vapeur s'y condense. Un volant régularise d'ailleurs cette action.

Est-il besoin d'ajouter que, si j'ai cru utile de mentionner ces ingénieuses conceptions pour montrer jusqu'où se porte l'imagination des inventeurs, ce que je viens d'en dire ne saurait faire illusion à aucun ingénieur sur la véritable portée industrielle de semblables appareils.

§ XIV. — Chaudières.

Grilles. — On a cherché à préserver le métal du coup de feu en employant des barreaux creux qui sont traversés par l'eau destinée à l'alimentation, ou encore par l'air qui se rend sur le foyer par les trous percés dans ces tubes, comme dans la grille de Smith (2) ou celle d'Erskine. Dans cette dernière, les barreaux

---

(1) *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome V, page. 407.
(2) *Engineering*, 1875, 1er volume, page 348.

sont, en plan horizontal, tailladés en zigzag, au lieu d'être en ligne droite. On réalise par là une plus grande surface de contact entre le métal et l'air; mais on doit redouter, par contre, une plus grande complication au point de vue de l'encrassement et du nettoyage. On peut laisser les barreaux former des courants indépendants. La préservation est alors meilleure; mais le fluide élève peu sa propre température. Les résultats sont inverses si on associe les barreaux en serpentin, comme dans la grille Ellis et Moore. La grille immergée Michel Perret (1) a des barreaux très-hauts et minces dont la partie inférieure plonge dans l'eau pour modérer la température de l'ensemble.

Les grilles mécaniques sont tombées en France dans un grand discrédit. Cependant elles conservent des partisans en Angleterre, et un assez grand nombre de types se trouvaient à l'Exposition spéciale de Manchester de 1874. On peut citer sous ce rapport la grille à tiroir Frisbie Holmer et Walker (2), le système Dillvynn Smith et Henderson (3), la grille Holroyd (4). Dans la grille Schmitz (5), les barreaux sont munis d'hélices extérieures et de trous pour le passage de l'air. En les tournant sur eux-mêmes avec une clef, on remplace les trous encrassés par d'autres qui sont libres, et les premiers peuvent se nettoyer. On rafraîchit aussi de cette manière la partie surchauffée du barreau, et, en outre, les hélices déterminent un brassage et détachent le mâchefer qui tombe dans le cendrier. Dans le système Bolzano (6), les barreaux se soulèvent de deux en deux par un mouvement angulaire analogue à celui du crible Briard (page 118).

Air forcé. — L'emploi de l'air forcé sous les grilles tend à se répandre. Il est, bien entendu, indispensable dans les appareils à foyers fermés, tels que ceux de M. l'ingénieur de la marine Du Fay, de Belou, Feuillet, Pascal, etc. (7). Il fait aussi partie intégrante du système des grilles à air dont il vient d'être question. Dans le dispositif de Perkins, des souffleurs-sous-grille Kœrting

---

(1) *Compte rendu mensuel.* Juin, 1879, page 134.
(2) *Engineering*, 1876, tome I, page 244.
(3) *Ibidem*, 1874, page 214.
(4) *The Engineer*, 1877, page 178.
(5) Clérault, *Annales des mines*, 7ᵉ série, tome XIII, page 527.
(6) Chabaud, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome III, page 159.
(7) Publication industrielle d'Armengaud, tome XX.
Expériences de M. Tresca dans les *Annales du Conservatoire*.

lancent de l'air et de la vapeur (1). La marine particulièrement trouve dans les soufflerles d'air forcé un adjuvant d'autant plus opportun qu'elle est privée des hautes cheminées qui déterminent le tirage des chaudières d'usines ou de mines (2). On doit toutefois, avec ce système, apporter quelque attention à éviter les coups de feu et la formation de chambres de vapeur à l'intérieur.

Quand on n'a pas l'air forcé au dedans, il se produit nécessairement, au moment où l'on ouvre la porte du foyer, un grand appel d'air froid qui trouble notablement le régime. On peut recommander à cet égard l'emploi d'une trappe qui ferme les carneaux et que l'on manœuvre à l'aide d'une chaîne à l'extrémité de laquelle un boulet est suspendu devant la porte. Le chauffeur ne peut donc ouvrir celle-ci pour charger du combustible sans remonter préalablement le boulet, ce qui par cela seul abaisse la trappe et ferme les carneaux.

Quand on se sert du tirage naturel, on emploie parfois des régulateurs de tirage automatiques mus par la pression même de la vapeur, tels que ceux de Barrett et Irving, de Cleuet, etc.

Chaudières ordinaires. — On a commencé à recourir à l'emploi de la tôle d'acier, ou, plus exactement, de fer fondu non trempé (3). Ce n'est pas précisément l'épaisseur que l'on cherche à diminuer par cette substitution (4), c'est plutôt sur une augmentation de durée que l'on compte pour réaliser des économies, en employant un métal doux et homogène. Des expériences importantes ont été faites à ce sujet par le Creusot, par M. Webb en Angleterre, et par l'Institut américain des maîtres mécaniciens (5). Le forage tend à remplacer le poinçon pour pratiquer les trous de rivets.

Les types à corps de chaudière et à bouilleurs continuent à dominer de beaucoup, surtout dans les mines de France, sur les systèmes tubulaires (6).

---

(1) *Engineer*, 1877, page 75.

(2) Étude sur les machines marines, par M. Maupean (*Annales du génie maritime*, 1876).— Bertin, ingénieur de la marine, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome IV, page 531.— *Les mondes*, tome XLIII, page 524.

(3) Macquorn Rankine : *Manuel de la machine à vapeur*, note de M. Richard, page 598.

(4) Théorie de l'élasticité et de la résistance des chaudières cylindriques, par Kauer (*Journal de l'artillerie* de Vienne, 1876, page 413).

(5) Railroad, *Gazette de Chicago*, 1876 et 1877.

(6) *Compte rendu mensuel :* Gibon, juin 1879, page 1; Aguillon, 1876, juin, page 21, et juillet, page 10 (note très-intéressante).

Chaudières à vapeur accolées, Hanrez (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXXV, page 235).

Les chaudières de Cornouailles ou du Lancashire renferment un ou deux carneaux intérieurs (1), et même trois dans le générateur Duchesne (2). Elles ont reçu un perfectionnement important, à savoir les jambes de force en tubes coniques de Galloway (3), qui servent à arc-bouter ces cylindres et à les garantir contre l'écrasement. Cette précaution est d'autant plus nécessaire que, dans la chaudière Galloway, les carneaux intérieurs sont souvent ovalisés à dessein, afin de laisser plus de place dans la partie inférieure pour les nettoyages. On obtient aussi une consolidation analogue par l'emploi de la tôle ondulée de Samson Fox (4), avec gorges perpendiculaires à la longueur. Les tubes de Galloway ont également un autre effet utile, qui est de brasser les gaz au lieu de leur permettre de cheminer par filets parallèles, avec combustion incomplète de certaines zones. C'est un résultat que M. Lugand (5) a cherché de son côté à réaliser à l'aide de disques étoilés interposés dans le courant, moyen qui paraît devoir exposer à de bien grandes résistances.

Chaudières tubulaires. — Un progrès décisif a été la construction des chaudières tubulaires à circulation rapide. C'est surtout dans la marine et dans un grand nombre de machines mi-fixes que ces innovations se sont le plus multipliées. Des dispositions très-ingénieuses ont pris naissance sous ce rapport. On peut même émettre la crainte que le but ne soit parfois dépassé et qu'on arrive à sacrifier la simplicité si nécessaire pour la sûreté, le nettoyage et l'étanchéité des assemblages, à un degré d'activité qui n'est pas toujours également indispensable (6).

Dans la chaudière Thirion, comme dans celle de Rickers (7), de

(1) Essais comparatifs des chaudières à bouilleurs et à foyers intérieurs (*Société industrielle de Mulhouse*, juin, 1875).

(2) *Compte rendu mensuel*, mai 1877, page 4.

(3) *Engineering*, 1876, page 456.

(4) *Proceedings of the institution of civil Engineers*, tome XLVI.

On the resistance of boilers flues to collapse, by Unwin.

Compte rendu mensuel, février 1878, page 65.

Engineer. 29 mars 1878, page 213.

(5) Lugand : Chaudières à disque (*Bulletin de l'Association scientifique de France*, 22 août 1875, page 308).

(6) Tresca, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 1875, page 523.

Gibon, *Compte rendu mensuel*, février 1878, page 54.

Hanrez : Les chaudières (*Annuaire des élèves de l'École de Liége*, juillet t octobre 1875).

Denfer : *Traité pratique des chaudières*, Paris, chez Baudry, 1878.

(7) *Les mondes*, tomes XLI, page 505, et XLVII, page 134.

nombreux tubes en U sont suspendus sous un diaphragme dans la boîte à feu, et une circulation active s'y établit, dans un sens déterminé d'ailleurs par des circonstances fortuites. Dans le générateur Field, la solution est plus nette; les tubes ont la forme d'éprouvettes rectilignes foncées à la partie inférieure, avec un petit canal disposé suivant leur axe et ouvert à ses deux bouts. L'eau supérieure descend par ce canal dans le fond de l'éprouvette, s'échauffe et remonte par la partie annulaire. Ces tubes sont employés dans les chaudières Julius Bergmann, Northcoth et Wiegand, Riot et Roux, etc. Un troisième type se rencontre dans le dispositif Davey et Paxmann. Les tubes légèrement paraboliques reçoivent le liquide à la partie inférieure par l'enceinte même de la boîte à feu, qui est entourée d'eau. Il monte à travers ces tuyaux, en raison de la différence de densité, jusqu'au diaphragme supérieur. On obtient souvent ainsi plus qu'une simple circulation, et parfois une action très-violente.

Quand les tubes sont simplement rectilignes, ils peuvent être horizontaux, comme dans les générateurs Jordan, Pitkin, etc.; plus souvent légèrement inclinés, comme dans les types Allen (1), Farnell de Brêne, Guillemin (2), Kelley, Liénard-Benoit (3), Pope, Root, Sinclair (4), J. Watt, Wilcox, etc.; ou enfin verticaux dans les chaudières Firminich, Bouché et de la Harpe (5), Graham, Meyn (6), Napier (7), Rowan et Horton, etc. Dans quelques-uns de ces appareils (Graham, Green, Twidweel, etc.), un racloir percé de trous comme une passoire monte et descend automatiquement le long des tubes qui s'y trouvent engagés, de manière à décaper constamment la surface du métal et à en détacher les suies qui tendent à s'y déposer, en diminuant la transmission de chaleur et fixant des vapeurs d'acide sulfurique très-nuisibles (8).

---

(1) *Engineering*, 1872, page 277.

(2) Résal : *Traité de mécanique générale*, tome IV, page 150.

(3) *The Engineer*, 3 mai 1878, page 354.

(4) Economic vaporization of water and expansion of steam by chief engineer Isherwood (*Journal of Franklin institute*, tome CVI, septembre 1878).

(5) *Aéronaute*, septembre 1873, page 168.

(6) Chabaud. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome III, page 147.

Engineering, 12 septembre 1873.

(7) Macquorn Rankine : *Manuel de la machine à vapeur*, traduction Richard, page 504.

(8) Certains innovateurs paraissent être entrés dans une fausse voie, comme par exemple dans un générateur anglais composé d'une série de pots en fonte placés en file. Ces sinuosités créent des résistances et facilitent les fuites et

En ce qui concerne la pose des tubes on tend à substituer au martelage qui est assourdissant dans les ateliers l'emploi des actions silencieuses et continues. Les machines hydrauliques de Twybill, les presses de Piedbœuf, l'expanseur Dudgeon (1) sont employés dans ce but. Les tubes amovibles de Beresdorf facilitent le nettoyage toujours difficile même avec les masses tubulaires amovibles d'un seul bloc telles que celles de Thomas et Laurens, Weyer et Laureau, Farcot (Exposition universelle), etc.

Chaudières sectionnelles. — On a introduit, sous le nom de chaudières sectionnelles, une sorte d'intermédiaire entre les générateurs tubulaires et les batteries de grands corps de chaudières. On y emploie un nombre assez grand de récipients beaucoup plus importants qu'un tube mais incomparablement moins qu'un corps de chaudière proprement dit. Je citerai à cet égard les systèmes Davie, Howard (2), Wigrill, Shepherd.

Dans ce dernier, les réservoirs ont la forme d'urnes ou de troncs de cône posés sur leur petite base. Ils ont 2 mètres de haut et $0^{m},60$ suivant leur grand diamètre. Ils sont assemblés dans le bas par un tuyau d'alimentation et en haut par une conduite de prise de vapeur. Les dépôts s'accumulent à la partie inférieure qui est disposée en vue d'une visite facile. Chaque urne correspond à peu près à une force de trois chevaux.

Chaudières inexplosibles. — On sait que ce terme sert à désigner des générateurs dans lesquels les tubes, au lieu de garder leur individualité, sont assemblés tous ensemble, ou par groupes, en forme de serpentin, et parcourus par une quantité d'eau très-limitée. Tantôt les joints se trouvent à l'intérieur du massif pour éviter le refroidissement, tantôt on les place en dehors pour faciliter la surveillance et les réparations.

Parmi les appareils de cette catégorie, le type Belleville est trop répandu pour qu'il y ait lieu d'y insister ici (3). Mais il n'est que juste de mentionner l'excellent service que ces générateurs ont effectué pendant la campagne de l'Exposition avec une force qui atteignait par moments 450 chevaux et une production moyenne

---

les encrassements; en outre, l'emploi de la fonte doit être proscrit au point de vue des explosions.

(1) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXIX, page 272.

(2) Qu'il ne faut pas confondre avec la chaudière inexplosible du même constructeur analogue, au type de Belleville (*the Engineer*, 1875, page 25).

(3) Delaunay, *Les mondes*, tome XXXVII, page 202.

de 8kg,77 de vapeur sèche par kilogramme de charbon maigre tout-venant.

Les chaudières Griffith (1), Howard (2), Perkins, Root et de Naeyer sont conçues sur des principes analogues. Un générateur tout récent en serpentin de Herreshoff est remarquable par son extrême légèreté. Il pèse, dit-on, 2kg,83 par cheval-vapeur, chiffre bien extraordinaire pour lequel je me borne à citer les sources de ce renseignement (3).

Chaudières à gaz. — Le générateur Ponsard (4) remplace à la fois la grille et le charbon par un gazogène spécial. Le gaz combustible qui en provient est débité sous le corps de chaudière par des tubes percés de trous. Un récupérateur de chaleur fournit, en outre, de l'air chaud pour effectuer la combustion. On obtient une régularisation beaucoup plus grande avec tous ces petits becs de gaz qu'avec un torrent unique de flamme. Il est toutefois nécessaire d'apporter quelque attention pour éviter les coups de feu. Quant à l'économie, on n'y peut guère compter avec les chaudières à gaz qu'à la condition d'une marche continue nuit et jour. Il est, en outre, assez difficile de développer des coups de collier (5).

Le générateur Muller et Fichet (6) a pour but d'éviter le refroidissement trop rapide des gaz mis en contact immédiat avec le métal avant que leur combustion ne soit intégralement effectuée, ce qui est une cause de production de fumées. Une chambre en briques réfractaires, maintenue à une température élevée, assure la réaction complète sans excès d'air réfrigérant comme dans les appareils ordinaires. C'est alors seulement que les gaz chauds sont admis le long de la chaudière.

Le générateur Fontaine, chauffé au gaz de l'éclairage, mérite

(1) *The Engineer*, 1874, page 150.

(2) Chabaud, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome III, page 121.
Engineering, 1874, page 73.
Brochure spéciale de M. de la Tréhonnais.

(3) *Aéronaute*, avril 1879, page 95.
Engineering, 7 février 1879.
Engineer, 11 avril 1879.
Les mondes, tome XLVIII, page 602.

(4) *Engineer*, 1874, page 66.
Les mondes, tome XXI, page 736, et XXXVI, page 480.

(5) Congrès tenu à Lille en 1876 et 1877, par les ingénieurs des associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

(6) *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1874, pages 670 à 711.

une mention en raison de l'importance du problème auquel il se rapporte. C'est celui des petits moteurs domestiques pouvant permettre le travail en chambre de l'ouvrier sans lui faire quitter sa famille. Six becs de gaz fournissent une force de 5 à 6 kilogrammètres par seconde avec une dépense de 660 litres à l'heure (1).

Le chauffage des chaudières par les gaz perdus des appareils métallurgiques se rattache naturellement à cet ordre d'idées. Le chiffre des chaudières verticales seules appartenant à cette catégorie était de 720 pour la France en 1876 (2). Cette disposition avait été suspectée à la suite d'accidents désastreux. L'enquête administrative qui a été faite à cet égard, tout en insistant de nouveau sur les précautions à prendre, n'a pas semblé attribuer à ce dispositif une cause spéciale de dangers. Il est commode en raison du peu de place qu'il nécessite. A la vérité, les gaz restent moins longtemps au contact de la chaudière à cause de leur tendance spontanée à monter de suite par le plus court chemin. Quand on est gêné sous le rapport de l'emplacement, on peut encore réaliser la disposition horizontale en plaçant le générateur au-dessus des fours à réverbère, comme à Tamaris, à Decazeville, etc.

Combustibles inférieurs. — A l'emploi des flammes perdues on peut rattacher celui de combustibles qui, sans valeur par eux-mêmes, sont souvent en outre encombrants et même nuisibles; de telle sorte que leur destruction est, à elle seule, un avantage. Je citerai par exemple la tannée humide que MM. Kraft et Muller, en France (3), MM. Crocket et Thompson, en Amérique (4), sont arrivés à brûler pour le chauffage des chaudières à vapeur. Les débris de cannes à sucre ont été utilisés de même par MM. Head et Shemioth.

La paille et les débris de végétaux ont été également employés par ces derniers constructeurs (5). Deux cylindres cannelés saisissent la paille et la foulent dans le foyer où elle brûle en l'air avant même de tomber sur le fond. Dans l'appareil Kotzo, en Hongrie,

(1) Tresca, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e sér., t. II, p. 525.

(2) Hanet-Cléry, ingénieur en chef des mines : Étude sur les chaudières verticales chauffées par les flammes perdues (*Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 68).

(3) *Annales industrielles*, 1870.

(4) Thurston, *Journal of Franklin Institute*, 1875.

(5) J. Head, *Proceedings of the institution of civil Engineers*, tome XLVIII, 30 janvier 1877.

on charge à la fourche dans une trémie, ce qui est moins simple. La maison Fowler a appliqué ce procédé pour les labourages à vapeur en Russie, en Hongrie et dans l'Amérique du Sud. 750^{kg} de paille suffisent pour labourer à $0^{m},25$ de profondeur un hectare capable de produire ensuite 3.000^{kg} de paille.

Pour fixer la puissance comparative de vaporisation de ces divers produits, on peut compter qu'en général on obtiendra 8^{kg} de vapeur dans une chaudière tubulaire bien établie en brûlant $1^{kg},00$ de bonne houille ou $2^{kg},00$ de tourbe sèche; $2^{kg},25$ à $2^{kg},30$ de bois sec; $2^{kg},50$ à $3^{kg},00$ de cotonnier ou de canne à sucre; $3^{kg},25$ à $3^{kg},75$ de paille de blé ou d'avoine.

C'est le besoin d'utilisation du menu des mines qui a donné naissance à la puissante industrie des agglomérés. Mais quelques essais ont été faits dans un sens précisément opposé, en achevant la pulvérisation et brûlant la poussière fine lancée par un ventilateur, à peu près comme cela se passe dans les fours à puddler de Crampton. Ces essais, plutôt métallurgiques que mécaniques, ont été peu appliqués au chauffage des chaudières. On en peut pourtant citer des exemples de la part de MM. Whepley et Storer en Amérique (1), Stevenson à Londres, Isherwood, en 1876, pour le gouvernement des États-Unis. M. G. K. Stephenson de Valparaiso a obtenu de meilleurs résultats que ses devanciers en pulvérisant moins fin (2).

On chauffe aujourd'hui certains générateurs à l'huile de pétrole. Le foyer est garni de briques réfractaires sur une épaisseur de 1 décimètre environ, pour protéger la chaudière et déterminer la combustion complète à l'aide d'une température très-élevée. L'huile est amenée par de petits canaux et coule par la pesanteur, ou se trouve projetée, comme dans le système Aydon (3), par la pression d'un jet de vapeur surchauffée.

Explosions. — Un progrès d'une grande importance consiste dans l'institution d'associations d'industriels pour la surveillance de leurs appareils à vapeur. Cet examen est fait périodiquement par des ingénieurs spéciaux, expérimentés, réguliers dans leur service, responsables d'une manière plus directe que l'employé par-

(1) *Engineering*, 1871, page 198, et 1877, page 335.
Journal of Franklin Institute, 1870 et 1871, page 198.
Annual report of the chief of the United States Bureau of Steam Engineers for 1876.

(2) *The Engineer*, 1877, page 336.

(3) Macquorn Rankine : *Manuel de la machine à vapeur*, traduction Richard, page 482.

ticulier d'une mine, sur lequel pèsent des préoccupations de natures très-diverses. Depuis l'association de Mulhouse, créée en 1867, se sont fondées l'association belge et celles de Lille, de Rouen, de Paris et de Lyon. Leurs comptes-rendus périodiques, très-instructifs, peuvent être rapprochés, comme éléments d'appréciation, des rapports administratifs rédigés sur les explosions par les ingénieurs des mines. En Angleterre, ces associations revêtent parfois le caractère de compagnies d'assurance, alors encore plus directement intéressées à une stricte surveillance, pour éviter des accidents dont les conséquences tombent à leur charge. Le poids de l'opinion publique exerce aussi son influence à cet égard, et le jury montre d'ordinaire une grande sévérité pour les industriels non assurés qui lui sont déférés pour des accidents.

Il serait fort difficile, en ce qui concerne les explosions, de résumer ici brièvement, en dehors des principes classiques et parfaitement connus, toutes les causes qui ont été relevées dans les documents récents publiés sur cette matière, ainsi que les préservatifs qui ont été indiqués. Ce sont des indications qui ont besoin d'une précision minutieuse et pour lesquelles il est nécessaire de se reporter aux documents eux-mêmes, dont quelques-uns ont beaucoup de valeur (1).

Incrustations. — Les incrustations (2) constituent l'une des

---

(1) Lluyt, *Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 548.
Hanet-Cléry, *Ibidem*, tome IX, page 455, et XIV, page 68.
Sauvage, *Ibidem*, tome XI, page 104.
Nivoit, *Ibidem*, tome IX, page 463.
Duporcq, *Ibidem*, tome XV, page 313.
Delaunay : *Étude sur les générateurs à haute pression*, Paris, Chaix, 1878 (excellent travail).
Scheffler : Expériences sur les explosions (*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, tome XIV, page 141).
Compte rendu mensuel, décembre 1875, page 10, et juin 1876, page 1.
Fayol : Corrosions des chaudières, *Ibidem*, octobre 1876, page 4.
Meurgey : Corrosions extérieures, *Ibidem*, novembre 1876, page 12.
Durand : Corrosions intérieures, *Ibidem*, février 1877, page 12.
Maillon : Explosions, *Ibidem*, mai 1877, page 43.
Les mondes, tome XXXVII, page 712.
Bulletin de l'Association scientifique de France, n° 292, page 186, et avril 1875, page 73.
Bulletin des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, Mémoires de MM. Bour, Cornut, Jourdain, Vinçotte, etc.
(2) Incrustations, Brull et Langlois (*Revue universelle des mines et des usines*, tomes XXV-XXVI, pages 367, 453, 466).
Recherches sur l'incrustation des chaudières à vapeur (*Annales des ponts et*

causes de danger les plus redoutables, indépendamment des frais et de l'assujettissement qu'elles entraînent pour l'entretien normal. En outre, elles font perdre jusqu'à 40 p. 100, dans certains cas, de l'utilisation du combustible, suivant M. Cousté, directeur des manufactures de l'État et même 50 p. 100 d'après les expériences de M. Tresca.

On a continué à proposer pour les combattre une foule de substances diverses, telles que le zinc désincrustant (1), le goudronnage des chaudières (2), les matières grasses (3), le lithoréactif de Weiss de Bâle (4), le paratartre Magnat, la végétaline, etc. Un défaut commun à la plupart de ces solutions est de se présenter comme universelles, tandis que la nature du meilleur désincrustant doit avoir dans chaque cas une relation plus ou moins directe avec l'analyse des eaux, sous peine de présenter de très-grandes inégalités dans les résultats.

On commence à insister avec beaucoup de raison sur l'épuration préalable de l'eau (5). Les mines de Bruay possèdent un épurateur très-bien disposé pour les eaux d'alimentation. Elles y sont additionnées d'un lait de chaux ou de chlorure de baryum d'après le procédé du docteur Haën de Hanovre. Un filtrage sépare ensuite les matières précipitées. Le filtre Bérenger est adopté par le Sud-Bahn autrichien. Dans les épurateurs de Stilwell et de Shan, l'eau passe avec de la vapeur sur des plaques en chicane qui retiennent une partie des impuretés. Mais les résultats ont été peu marqués. Le simple échauffement préalable sans appareils compliqués rend cependant de bons services, en précipitant les bicarbonates des terres alcalines que la chaleur décompose en carbonates neutres insolubles, et en outre une partie du sulfate de chaux, dont la solubilité est décroissante et s'annule vers 140 à 150°. Le générateur Belleville du modèle de 1877 renferme un épurateur fondé sur ce principe et qui fonctionne avec succès.

---

chaussées, septembre et octobre 1854).

Imbert : Analyse des tartres (*Compte rendu mensuel*, mars 1876, page 8).

(1) *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tomes III, page 55, et V, page 150.

Compte rendu mensuel, octobre 1875, p. 10 et 14, et octobre 1876, p. 8.

Les mondes, tome XLIV, page 510.

Lesueur : *Annales de chimie et de physique*, septembre 1875.

(2) *Compte rendu mensuel*, juin 1877, page 22.

(3) Pereyra, *Annales des mines*, 7e série, tome XIV, page 88.

(4) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXVII, page 368.

(5) Forquenot, *Bulletin des ingénieurs civils*, 6 mars 1874.

Henri Glépin, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXXII, p. 80.

M. Maurice Jourdain a signalé à l'attention des ingénieurs (1) un produit spécial qui constituerait un grave danger inaperçu jusqu'alors. Suivant cet auteur, un certain composé de sels de chaux et de magnésie associés à une matière grasse conservé l'état pulvérulent et ne se laisse pas mouiller par l'eau. Celle-ci, tenue à distance capillaire, prend l'état sphéroïdal. D'autre part, un coup de feu, en calcinant la matière grasse, est capable de détruire cet état de choses. L'eau revient alors au contact de la paroi et peut déterminer l'explosion. Les altérations subies par les matières grasses dans les générateurs ont été étudiées avec détail par le professeur Stingl de Vienne (2). On doit aussi des recherches analogues au professeur Wartha de Pesth, ainsi qu'à M. Hétet, pharmacien en chef de la marine à Brest. M. Mercier a examiné de même l'influence réciproque des graisses sur le métal des chaudières (3).

Quant aux moyens de débarrasser la chaudière des dépôts qui s'y forment, je citerai en passant le déjecteur Duméry (4).

Alimentation. — L'appareil Giffard a servi de point de départ à une série de modifications de détail qui, sans toucher au principe essentiel, ont donné naissance aux injecteurs Borsig, Colfort et May, Klasen, Kœrting, Mazza, Petau, Schan, Schœffer (5), Sillers, Webb. Le perfectionnement le plus essentiel, qui est dû à M. Bourdon et à M. Kœrting, consiste dans la multiplication des effets par les injecteurs multiples, dont chacun fonctionne au sein du produit du précédent (6). On peut ainsi relever dans une certaine mesure la température à laquelle l'alimentation par les injecteurs se trouve paralysée.

L'hydrotrophe de Hall et de Heck (7) n'est autre chose au fond que l'application du pulsomètre (page 100) à l'alimentation des chaudières. La grande consommation de vapeur de cet appareil se trouve justifiée dans le cas actuel, et ne constitue pas un défaut comme pour l'épuisement des mines, puisque la chaleur dépensée se retrouve dans l'eau et rentre dans le générateur, comme cela a

---

(1) Premier *Bulletin de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur.*
(2) *Gazette polytechnique de Dingler*, tome CCXV, page 115, année 1875.
(3) *Annales des mines*, 7e série, tome XV, page 236.
(4) Résal : *Traité de mécanique générale*, tome IV, page 146.
(5) Habets, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXXV, p. 27.
(6) *Engineering*, 1876, page 474.
(7) *Ibidem*, 1877, tome II, page 33.

lieu pour les bouteilles alimentaires, que l'on appelle aussi *retour d'eau*.

Je nommerai encore les alimentateurs Avril, Brière, Cohnfeld, Gargan, Macabiès (1), Marché (2), Pognon et Liénard (3), Potez et Thibaut, Riedel, Roufosse, Velant et Ternois, Varley. Beaucoup d'appareils d'alimentation sont doublés de réchauffeurs que les Anglais appellent *économiseurs*, et les Allemands *avant-chauffeurs*. Ils sont naturellement fondés sur l'emploi des gaz perdus. Je citerai notamment ceux de Atkinson, Berrymann (4), Davey et Paxmann, Erskine, Green, Northcote (5), Reilly (6), Thorilleux (7), Trouilleux (8), Twybill. Ceux de Brown et May, ainsi que de Wallis-Stevens, emploient à cet effet la vapeur de l'échappement dans les machines qui n'ont pas de condenseur proprement dit. Le système de M. Marchant est fondé sur la compression de vapeur (9). Ses résultats ont paru douteux. Une série de pompes, indiquée à cet effet comme efficace par Zeuner (10), devient insuffisante avec les détentes pratiques (11). Le nettoyage des surfaces est particulièrement à recommander dans les réchauffeurs, car les suies ont d'autant plus de tendance à se précipiter que les surfaces sont moins chaudes. Il arrive alors que ces dépôts effacent rapidement l'économie que l'on a pu observer dans les premiers temps de la marche (12).

Quelques-uns des appareils d'alimentation que je viens de citer sont automoteurs (13). Après ceux qui commencent d'eux-mêmes à alimenter quand il en est besoin, on peut classer ceux qui avertissent de cette circonstance le chauffeur inattentif, au moyen du

---

(1) *Compte rendu mensuel*, décembre 1876, page 5.
(2) *Les mondes*, tome XL, page 472.
(3) *Écho des mines*, 1876, page 119.
(4) Chabaud, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome III, pages 136 à 142.
(5) *Engineering*, 1876, page 169.
(6) *Ibidem*, tome II, page 18.
(7) *Echo des mines*, 1876, page 197.
(8) *Ibidem*, 1876, page 196.
(9) *Engineering*, 18 août 1876.
Times, 3 septembre 1876.
(10) *Théorie mécanique de la chaleur*, page 526.
(11) Hirn : *Exposition analytique*, tome II, page 127.
(12) Delaunay : *Étude sur les générateurs à haute pression*, page 14.
(13) Worms de Romilly : Alimentateur de niveau constant (*Annales des mines*, 6e série, tome VII, page 254).
Flotteur alimentaire automoteur (*Ibidem*, tome II, p. 415).

sifflet d'alarme (1), et enfin ceux pour lesquels on n'est renseigné que par les indicateurs de niveau, qu'il faut consulter des yeux, et dont l'emploi est du reste réglementaire.

En ce qui concerne les indicateurs de niveau, le tube Planche (2) mérite une mention spéciale, à cause de la difficulté particulière que présentent les chaudières verticales, pour lesquelles le niveau de l'eau est très-élevé. L'indicateur Daniel à deux travées, en reculant au moyen d'un tuyau métallique intermédiaire la communication entre le tube de cristal et le générateur, tend à refroidir l'eau et à diminuer les chances de rupture. Le flotteur magnétique de Lethuillier-Pinel continue à être employé sur les chaudières d'un certain nombre de mines. On le dispose parfois de manière que l'aiguille aimantée, en arrivant trop haut ou trop bas, suivant les variations du niveau de l'eau, ferme un circuit électrique et met en mouvement une sonnerie avertisseuse.

Soupapes de sûreté. — La tension de vapeur est parfois réglementée par des régulateurs de pression, tels que ceux de Coignet (3) et de Lemoine (4); mais les règlements n'en exigent pas moins la présence des soupapes de sûreté.

Elles ont été l'objet de recherches attentives (5) dans ces der-

(1) Hirn, *Bulletin de la Société d'encouragement*, tome IV, page 580.
Compte rendu mensuel, avril 1878, page 77.
Sifflet d'alarme sans flotteur, système Kenion (*Ibidem*, mars 1877, page 15).
Flotteur de sûreté Guibert (*Ibidem*, avril 1877, page 18).
Flotteur Rieder (*Bulletin de Mulhouse*, 1875, page 328).
Flotteur Chaudré (*Annales des mines*, 7e série, tome IX, page 78).
Indicateur automatique Dupuch (*Ibidem*, tome IV, page 23).
Le sifflet Paragon de Stockall et Crosskey indique le manque d'eau ou le trop-plein par deux sifflets de timbres différents.
Préservateur universel Macabiès réunissant un sifflet d'alarme, un indicateur et un régulateur du niveau; ces trois appareils pouvant du reste exister séparément (*Compte rendu mensuel*. Juin 1879, page 148).
(2) *Annales des mines*, 6e série, tome XVIII, page 379.
(3) *Les mondes*, tome XLI, page 113.
(4) Association française pour le progrès des sciences, congrès de Lille.
(5) Étude des variations de pression dans la levée des soupapes de sûreté, par Mac Farlane Grey (*Society of naval Architects*, avril 1877; *Engineering*, 1877, page 286).
Thonard : Diamètre minimum des soupapes (*Revue universelle des mines et des usines*, tome XXX, page 31).
Nautical Magazine, juillet 1872.
Report on safety valves presented to the Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland, décembre 1874.
Claudel : *Aide mémoire*, page 622.

niers temps, dans le but d'obvier à un inconvénient essentiel du dispositif primitif. Il consiste en ce que l'échappement de la vapeur autour de la soupape, quand la pression devient excessive, détend de suite l'atmosphère voisine, qui ne peut plus dès lors soutenir le clapet et le laisse retomber. Mais l'état statique reformant immédiatement la pression, qui n'a pu être ainsi modifiée que d'une manière insuffisante, le soulèvement recommence, et l'on a de cette manière un fonctionnement vacillant au lieu du large dégorgement qui est nécessaire.

Le professeur Roltz de Prague (1) a proposé un dispositif dans lequel il supporte la soupape au moyen de l'atmosphère d'un tube qui descend presque jusqu'à la surface de l'eau. Quand le chapeau se soulève, la vapeur sort *autour* de ce tube, et non par son intérieur. La pression portante ne peut donc diminuer que lorsque la détente est générale et s'est transmise par la partie inférieure du tuyau.

Des systèmes analogues ont été mis en avant par MM. Adams ou Richardson (2), Bodmer, Cockburn, Courtin (3), Kaptein (4), Labeyrie (5), Larsoë, Mengenofen, Meyer, Naylor (6), Turton. Presque partout on adopte le système des ailettes. M. Lavington a repris la simple soupape conique (7) ; M. Nasmyth, un boulet sphérique (8). On doit éviter de former le siége de la soupape d'un anneau de bronze enchâssé dans de la fonte. Le premier est plus dilatable. Obligé de prendre son expansion dans le vide intérieur, il serre le clapet et s'oppose à son soulèvement. Les charnières sont avantageusement remplacées par les articulations libres.

§ XV. — Condenseurs.

Suppression de la pompe à air. — L'ancien condenseur propre-

(1) *The Engineer*, 1877, second volume, page 68.
Institute of mechanical Engineers, 1877.
(2) Couche : *Voie, matériel et exploitation technique des chemins de fer*, tome III, page 931.
(3) *Revue universelle des mines et des usines*, 1875, 1er volume, page 346.
(4) *Ibidem*, p. 401.
(5) *Annales des mines*, 1869.
(6) *Compte rendu mensuel*, septembre 1875, page 9.
(7) *The Engineer*, 1876, second volume, page 147.
(8) *Engineering*, 1876, second volume, page 393.
Macquorn Rankine : *Manuel de la machine à vapeur*, traduction Richard, page 491.

ment dit, avec sa pompe à air (1), ainsi que les condenseurs de surface (2) ou condenseurs de Hall, continuent de faire le meilleur service. On peut à cet égard accorder une mention spéciale au condenseur séparé de Davey (3), avec cylindre à distribution différentielle, fonctionnant comme machine condensante pour des appareils qui sont par eux-mêmes sans condensation. Je citerai de même le condenseur à surface d'Indret, construit par M. Joessel, et dans lequel la pompe à air fait en même temps fonction de pompe de circulation (4).

D'importantes innovations se sont produites dans ces derniers temps en vue de supprimer la pompe à air, qui est une cause d'encombrement et de consommation de travail. Dans le condenseur Létoret, qui est applicable aux machines de Cornouailles, on a évité de la manière suivante l'emploi de cet organe. Avant la fin de la période d'équilibre, on envoie la vapeur dans le condenseur, sans y admettre de nouvelle eau froide. La condensation est, par conséquent, fort imparfaite. La vapeur conserve une tension suffisante pour donner une chasse et expulser au dehors l'air et l'eau tiède de l'opération précédente, malgré la pression atmosphérique. L'enceinte reste occupée par de la vapeur à la tension de 1 atmosphère. C'est alors que s'opère l'injection d'eau froide pour faire retomber cette pression et préparer la course suivante. On voit que ce principe ingénieux ne saurait convenir aux machines à double effet, car elles n'ont pas, comme celles de Cornouailles, l'intermittence, et, dans tous les cas, la période d'équilibre. On serait, pour elles, obligé de prendre sur la fin de la course le temps de l'opération, ou de laisser peser sur le commencement de la course suivante une contre-pression très-nuisible. Au contraire, la phase d'équilibre n'est nullement influencée par cette circonstance que la pression, égale sur les deux faces du piston, a une valeur absolue moindre qu'à l'ordinaire. Tout au plus doit-on alors commencer plus tôt la compression pour reconstituer avec cette pression diminuée la tension de la chaudière.

M. Friedrich, à Kladno, vient récemment de se placer à un point

(1) Étude sur la condensation dans les machines à vapeur, par M. Cousté, directeur des manufactures de l'État (*Annales des mines*, 6e série, tome XIV, page 123).

(2) Étude sur les condenseurs de surface, par M. Audenet, ingénieur de la marine (*Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome II, page 659). Sédillot : *Condenseur par surfaces*, 1863, in-8°.

(3) *Engineering*, 1876, page 34.

(4) Ledieu : *Traité des nouvelles machines marines*, Pl. V, *fig.* 26.

de vue différent. A l'aide d'une soupape spéciale qu'il appelle *auspuffventil*, il évacue la vapeur d'équilibre dans l'atmosphère directement, et seulement ensuite il envoie le reste dans le condenseur, dans le but d'y opérer la condensation par l'eau froide sur une moindre masse. L'expérience paraît avoir indiqué pour cette innovation un certain avantage, mais peu important.

M. M. Deprez propose un jeu analogue de soupapes ou de tiroirs qui réunit trois fonctions de l'échappement distinctes entre elles, et en apparence difficiles à concilier. Il lance dans la cheminée l'échappement anticipé, le seul vraiment efficace pour déterminer le tirage par une succession d'à-coups répétés dus à la différence de pression entre la vapeur et l'atmosphère, avant que cette pression ne soit trop tombée. Pendant un dixième de la course rétrograde, il envoie la vapeur dans la bâche d'alimentation pour réchauffer l'eau, et enfin, pendant le reste du trajet, il évacue cette vapeur dans le condenseur, de manière à améliorer le rendement suivant la destination essentielle de cet organe, en raison de la chute de pression qu'il détermine sur la face antérieure du piston.

Il y a déjà un certain temps, M. Devillaine avait disposé à Montrambert un condenseur dans lequel la pompe à air était supprimée comme pour le condenseur Létoret, mais par un artifice différent. On élevait l'eau d'épuisement au-dessus du sol, en la laissant ensuite retomber dans une sorte de trompe pour exercer une succion qui provoquait l'évacuation des condenseurs. On aperçoit de suite que si le travail de la pompe à air était ainsi évité, c'était au prix d'un excédant imposé à l'élévation de l'eau d'épuisement. Seulement les résistances passives n'étaient pas pour cela accrues dans la machine d'épuisement au même degré que par la création d'un appareil distinct comme la pompe à air.

Un dispositif tout à fait analogue a été formulé récemment par M. Saxby (1). Le condenseur Brossard qui figurait à l'Exposition fonctionne aussi d'après les mêmes données.

Condenseurs-éjecteurs. — J'ai rappelé ces divers principes, d'abord pour l'intérêt qu'ils présentent par eux-mêmes, et aussi parce qu'ils nous amènent d'une manière toute naturelle à la conception des nouveaux condenseurs-éjecteurs. On y remplace la pompe à air par la pression de la vapeur comme dans le condenseur Létoret, et en la faisant fonctionner par succion comme dans le dispositif Devillaine, mais en y ajoutant le puissant adjuvant des

(1) *Engineering*, 1875, page 432.

systèmes d'ajutages, dont l'application a pris dans ces derniers temps un essor si remarquable. Je vais m'expliquer plus clairement.

En principe, on conçoit facilement que la pompe à air constitue au fond un véritable gaspillage de travail. En effet, elle sert à extraire de force le contenu du condenseur malgré la pression de l'atmosphère. Mais on a eu à cet égard le tort de laisser perdre le travail de cette même pression quand elle s'est exercée sur l'introduction de l'eau. Celle-ci, en entrant sous l'impulsion de la pression atmosphérique, ou du moins de la différence entre cette pression et celle du condenseur, acquiert théoriquement une force vive capable de la faire ressortir malgré cette même pression (si on fait abstraction des résistances passives) ; de même qu'un corps pesant qui descend sur une pente acquiert une vitesse capable de le faire remonter de l'autre côté jusqu'au même niveau. Seulement on a laissé perdre cette force vive, comme le fait, pour continuer ma comparaison, un homme qui retient sur la pente une charrette à bras, et est alors obligé de la remonter par son propre effort sur la rampe opposée. Mais si au contraire il se lance en courant jusqu'au bas de la rampe, la force vive acquise fonctionne ensuite indépendamment de lui le long d'une hauteur correspondante. Or, dans le cas actuel, non-seulement on a laissé perdre cette force vive, mais, en outre, cela a eu lieu de la manière la plus fâcheuse, car elle s'est convertie en chaleur dans une enceinte pour laquelle on ne recherche que le froid. Il conviendrait donc, pour un double motif, de chercher à employer cette force vive à faire ressortir le tout du même coup qu'il s'est introduit.

A la vérité, ce raisonnement néglige la considération des résistances passives; celle de l'eau produite par la vapeur et distincte de l'eau froide introduite, et enfin des difficultés qui tiennent à l'air dissous dans cette dernière et se dégageant dans l'intérieur. On ne trouve donc plus dans ce qui précède une compensation exacte, mais seulement un premier appoint auquel il devient nécessaire d'ajouter un complément de travail extérieur. Mais on rencontre précisément celui-ci dans la vapeur d'échappement qui a encore conservé une certaine tension. Il s'agit seulement de savoir si ce secours sera suffisant. Or ce n'est là qu'une affaire de degré de détente. Si celle-ci était complète, c'est-à-dire poussée jusqu'à la pression même du condenseur, on ne trouverait plus rien à recueillir sous ce rapport. Mais si, au contraire, comme cela a lieu dans la pratique, on en reste suffisamment loin, il est clair qu'on obtiendra par là tout ce qu'on voudra de force. Peut-être, à la

vérité, sera-t-il nécessaire pour cela de sacrifier un peu du travail qui eût pu, sans cette circonstance, être emmagasiné sur le piston moteur. Cette partie représentera alors une fraction de la puissance qu'eût consommée la pompe à air, mais seulement une fraction, et dans tous les cas on aura bénéficié (indépendamment de ce que j'ai expliqué pour la pression atmosphérique) de la différence de tension qui subsiste toujours entre la fin de la détente et la pression du condenseur.

Telles sont les idées assez simples à l'aide desquelles il me semble possible, sans aucune théorie compliquée, de se faire une idée juste du fonctionnement des éjecteurs si ingénieux que l'on doit à MM. Cherry, Kœrting, Morton (1), Mac-Carter (2), etc., et dont les dispositifs dérivent du reste très directement de celui de l'injecteur Giffard.

Ils présentent notamment cet avantage de pouvoir s'adapter aux machines les plus rapides pour lesquelles l'emploi de la pompe à air présenterait bien des difficultés. Ils conviendraient assez naturellement pour les moteurs d'extraction. On sait que l'introduction de la condensation dans ces machines, malgré certaines difficultés, est prônée par beaucoup de bons esprits, et que Callon y attachait une réelle importance. L'un des principaux obstacles en pareil cas est l'encombrement qui serait ainsi supprimé. Il reste à la vérité la difficulté inhérente à ces machines, à savoir celle de l'intermittence de leur fonctionnement, qui placerait, pour ainsi dire, perpétuellement l'éjecteur dans les conditions particulièrement difficiles de sa mise en train; mais cette objection pèse aussi dans une certaine mesure sur l'emploi de la pompe à air. Cette tentative a du reste été effectuée à Bank Hall Colliery, mais avec un condenseur Mac-Carter, qui lève l'objection en question par une dépense directe de vapeur qu'on ne trouve pas dans les autres appareils que je viens d'énumérer. Le Mac-Carter, si on lui donne l'importance suffisante, peut très-bien jouer le rôle d'une machine condensante et s'appliquer à plusieurs moteurs à la fois. Un seul appareil de ce genre conduit six machines dans l'imprimerie Dewhursh à Aspley.

---

(1) Rankine, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 1870, page 346.
Ledieu : *Nouvelles machines marines*, Pl. V, *fig.* 25.
Annales des mines, 6e série, tome XV, p. 85.
Compte rendu mensuel, mai 1877.
Revue universelle des mines et des usines, tomes XXV-XXVI, page 413.
(2) *The Engineer*, 1876, page 110.

Éjecteurs pour applications diverses. — Le dispositif des ajutages déjà employé pour l'alimentation des chaudières et la purge des condenseurs l'a été également pour beaucoup d'autres usages. D'abord pour l'élévation pure et simple de l'eau. J'ai déjà cité l'élévateur Friedmann et son emploi pour l'exhaure des mines (p. 102). Cet appareil convient très-bien, comme le pulsomètre, pour l'alimentation des locomotives sur les lignes en construction qui ne sont pas encore pourvues de machines fixes élévatoires. On amène la locomotive sur le point voulu, et elle transmet sa vapeur par une conduite jusqu'à l'élévateur placé en contre-bas, lequel envoie l'eau au tender. On évite, dans ce cas, l'inconvénient inhérent à ces appareils, qui est de chauffer l'eau élevée; car cette fois-ci l'élévation de température dans la bâche du tender n'est plus sans utilité.

Ces appareils servent aussi à déterminer l'entraînement de l'air et forment alors les éjecteurs soufflants de Bourdon, Clean, Kœrting (1), Siemens. Cette action d'entraînement est d'une efficacité extraordinaire. Ses lois sont très-complexes et ont été fort bien étudiées dans un important travail de M. Félix de Romilly (2).

Cette puissance est telle qu'on l'a également employée à entraîner du sable, des céréales dans le déchargement des navires, au moyen de dispositions dans lesquelles les matières solides ne traversent pas les organes proprement dits de l'éjecteur. Les appareils Kœrting sont également appliqués pour le clairçage dans les sucreries (3).

Refroidisseur artificiel. — L'un des obstacles qui font souvent renoncer à l'emploi des condenseurs est le manque d'eau. Dans les mines, par exemple, où il semble que l'épuisement en fournira une quantité surabondante, il faut bien remarquer que ce n'est qu'une question de profondeur, toujours la même. En effet, un kilogramme de vapeur pouvant développer pratiquement un travail bien déterminé T, exige en même temps un certain poids P d'eau

---

(1) Tresca, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e sér., t. II, p. 539.
Compte rendu mensuel : 1875, septembre, page 7, et décembre, page 13; juin 1876, page 34; février 1877, page 24; avril 1878, page 73.

(2) Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome IV, page 409.
Annales de physique et de chimie.
Comptes rendus de l'Académie des sciences, tome LXXX, page 954.
Les mondes, tome XXXVII, page 166.

(3) *Les mondes*, tome XLIII, page 612.

froide pour sa condensation. C'est donc (en ne comptant pas le kilogramme d'eau vaporisée, puisque l'alimentation ne peut être prise dans les eaux des mines que dans des cas bien rares) un travail d'extraction PH à développer. D'où l'égalité

$$PH = T$$

(en négligeant les résistances passives), qui détermine le maximum H de profondeur accessible sans fournir d'eau étrangère pour la condensation.

Comme la difficulté de la pénurie de l'eau se présente du reste dans tous les genres d'industrie, M. Brunon a proposé tout dernièrement un condenseur avec refroidisseur (1). L'eau tiédie par la condensation est admise d'abord au milieu d'une couche de copeaux qui fixe la plus grande partie des graisses provenant de la machine, puis elle s'étale dans des bassins de refroidissement dans lesquels elle descend par petits filets bien aérés le long de sparteries verticales. Comme l'évaporation reste, dans ces conditions, inférieure à la quantité qui correspond à l'alimentation elle-même, on se trouve avoir toujours un excès d'eau, et l'on peut, avec une première mise, faire fonctionner le condenseur pour ainsi dire indéfiniment.

§ XVI. — Machines à feu diverses.

Machines à air chaud. — Indépendamment de la vapeur d'eau saturée ou surchauffée, beaucoup d'autres corps ont été employés comme véhicule de la chaleur dans sa transformation en travail, et ont donné lieu par suite à autant de machines à feu distinctes. Quelques-unes, telles que les machines à gaz ou à air chaud, présentent une véritable importance, et ne sauraient dans aucun cas être passées sous silence. Les autres, qui ne jouent à peu près aucun rôle industriel, mériteront cependant tout au moins une mention à titre de curiosité. Je fais du reste ici cette réserve une fois pour toutes.

La machine à air chaud a été réalisée déjà par un grand nombre d'inventeurs, parmi lesquels je citerai Belou (2), Bresson, Baudin,

(1) *Compte rendu mensuel*, 1879, avril, page 82, et mai, page 114.
(2) Pechet : *Nouvelle mécanique industrielle*, page 209.

Éricsson (1), Franchot (2), Girard, Martin Hock, Joule (3), Laubereau (4), Leavill, Lehmann (5), Louis Lemoine (6), Pascal, Ryder (7), Stirling (8), Van Rennes (9); et en ce qui concerne les machines à gaz de foyer : Cayley, Gordon, Avenier de la Grée (10). Une étude théorique très-intéressante a été publiée à ce sujet par M. Hirsch, ingénieur des ponts et chaussées, sur ce qu'il appelle les machines aéro-thermiques (11).

Le motif le plus essentiel qui milite en faveur de l'emploi de l'air comme véhicule de la chaleur consiste en ce que, sans développer la pression à un degré qui puisse même entrer en comparaison avec ce que donne la vapeur saturée, on peut élever considérablement la température, et améliorer d'autant le coefficient économique du cycle de Carnot. On n'est limité à cet égard que par la préservation même de la machine. En outre, l'air se trouve partout et identique à lui-même, tandis que l'eau est plus ou moins chargée de substances étrangères, et exige souvent des aménagements coûteux. Les explosions sont beaucoup moins redoutables et la mise en pression est plus rapide qu'avec les chaudières à grande provision d'eau. L'adiabaticité est beaucoup plus favorable qu'avec la vapeur saturée. Mais, par contre, l'air est plus difficile à échauffer et nécessite de très-grands générateurs. A la vérité cet inconvénient disparaît dans le cas spécial où l'on ne dispose que de mauvais combustibles d'un très-faible pouvoir calorifique et qu'il faut, par suite, employer sous de grands volumes et avec de

(1) Lissignol : *Description de la machine Ericsson*, Le Havre, 1854.
Réal : *Traité de mécanique générale*, tome IV, page 424.
Annales des mines, 5e série, tomes II, page 453; III, page 775; IV, page 451; XIX, page 413.
Pochet : *Nouvelle mécanique industrielle*, pages 167 et 174.
Briot : *Théorie mécanique de la chaleur*, page 89.
Macquorn Rankine : *Manuel de la machine à vapeur*, traduction Richard, page 374.
(2) Combes : *Principes de la théorie mécanique de la chaleur*, page 76.
(3) *Philosophical Transactions*, 1851.
(4) Haton de la Goupillière : *Revue des cours scientifiques*, 18 mai 1867.
(5) Tresca, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e sér., t. II, p. 524.
(6) Louis Lemoine : *De l'emploi des toiles métalliques dans les machines à air chaud*, chez Carilian Gœury.
(7) *Revue industrielle*, 2 août, page 308.
(8) Verdet : *Théorie mécanique de la chaleur*, page 141.
Rankine : *Steam Engine*, page 362.
Briot : *Théorie mécanique de la chaleur*, page 88.
(9) *Les mondes*, tome XLVIII, page 166.
(10) *Manuel de la machine à vapeur*, Macquorn Rankine, page 395.
(11) *Annales des ponts et chaussées.*

grandes surfaces de chauffe. Mais surtout l'air chaud est oxydant pour les métaux et pour les matières organiques, comme les garnitures et les graisses, particulièrement aux températures élevées qui constituent justement l'intérêt de son emploi. Pour cette raison on ne saurait dépasser 250 à 270°.

Dans certaines machines à air chaud on a vu figurer un *régénérateur de chaleur*, formé de matières perméables à l'air et conductrices pour le calorique, telles que des toiles métalliques, de la grenaille de plomb, etc., qui, recueillant la chaleur des gaz perdus, la cédaient à l'air froid d'alimentation. On y a renoncé à cause des résistances passives qu'elles occasionnaient. Cependant la question de leur emploi paraît avoir repris quelque faveur et ne doit pas être considérée comme définitivement abandonnée. Deux motifs théoriques le recommandent. D'abord il permet de diminuer les pressions et les volumes extrêmes du fonctionnement de l'air, et par suite les dimensions et la résistance à donner aux machines pour un même objet industriel. En outre, les régénérateurs procurent plus de marge aux combinaisons pratiques. Ils permettent en effet, d'après les lois de la thermodynamique, d'obtenir d'une infinité de manière, en théorie, le coefficient économique maximum entre deux températures données, tandis que sans régénérateur on ne peut l'atteindre que par un seul et unique mode, le cycle de Carnot.

En fait, les machines à air chaud, qui ont conservé au delà de l'Atlantique une réelle vogue, ne jouent dans nos pays qu'un rôle industriel des plus effacés.

Machines à mélange d'air et de vapeur. — Le grand avantage que présente l'air sous le rapport de l'adiabaticité sur la vapeur saturée a conduit à employer un mélange de ces deux corps. Dans ces conditions, la pellicule fluide qui touche les parois liquéfie sa vapeur et ne laisse que l'air, peu conducteur par lui-même, qui préserve dès lors la masse principale de l'action réfrigérante du métal. Ce n'est pas là du reste une simple manière de voir. Des expériences directes de Reynolds (1) ont montré que la condensation dans un pareil mélange subit un retard qui croît avec la proportion d'air, jusqu'à ce que celle-ci atteigne le chiffre d'environ 30 p. 100, au delà duquel il n'y a plus d'augmentation sensible.

(1) *Compte rendu de la Société royale de Londres*, mai 1873.

Cette idée (1) avait provoqué à une époque déjà ancienne des essais de la part de Cagnard-Latour, Manoury-d'Ectot, du Tremblay. M. Hugon s'en est inspiré dans sa machine à gaz avec injection d'eau. Elle a été réalisée d'une manière systématique dans l'*aéro-vapeur* de Warsop (2). Une pompe y comprime de l'air à travers les barreaux creux de la grille et un serpentin de la boîte à fumée jusque dans un tube percé de petits trous qui règne sur le fond du générateur. Cette disposition avait pour but de contrarier par l'agitation l'agglomération du tartre, mais elle ne paraît pas avoir eu beaucoup d'efficacité sous ce rapport. En outre, la présence de l'air paralyse, comme on le sait, le fonctionnement de l'injecteur Giffard.

M. Marchant a fondé encore sur la même donnée sa *machine à nuage blanc* (3). Dans cet appareil, l'air était plusieurs fois comprimé, puis refroidi dans l'eau, pour s'y charger d'humidité ; finalement le mélange était chauffé dans un serpentin avant son admission dans le cylindre.

Machines à vapeur combinées. — Depuis longtemps on avait cherché à utiliser la chaleur latente que la vapeur d'eau abandonne dans le condenseur, pour régénérer un fluide élastique à l'aide d'un liquide plus volatil, en utilisant ainsi encore une partie de ces calories qui eussent été sans cela définitivement perdues. De cette manière, en abaissant la température finale, on améliore le coefficient économique d'une manière certaine, tandis que si l'on ne considère un tel fonctionnement qu'entre des températures fixes, la chute de chaleur *par cascade* revient en théorie absolument au même que le mode ordinaire. En pratique on y trouvait l'avantage d'avoir des cylindres plus courts, mais d'un autre côté l'inconvénient d'augmenter les résistances passives. De plus, les liquides employés présentent toutes sortes d'inconvénients extrêmement graves. Ils sont coûteux, inflammables, antihygié-

(1) Furno, *Bulletin de la Société des anciens élèves des écoles des arts et métiers.*
Bergeron, *Mémoires de la Société des ingénieurs civils.*
Congrès de l'Association française à Bordeaux, page 202.
Henderson, *Journal of Franklin Institute*, 1873.
(2) *On Warsop aero-steam engine*, by Humes.
London Association of foremen Engineers, novembre 1869.
Institution of mechanical Engineers, novembre 1870.
Eaton (*Times* du 3 février 1870, et *British Association*, 1873, section G).
Mechanics Magazines, 10 juin 1870 et 18 novembre 1871.
(3) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXVIII, page 465.

niques ou même toxiques. Les mécaniciens étaient obligés d'employer dans la soute aux machines la lampe de sûreté de Davy, et parfois on a dû y avoir recours aux appareils de sauvetage de mines destinés aux milieux irrespirables.

Les liquides suivants ont été essayés sous ce rapport : l'éther sulfurique (1), le chloroforme (2), le chlorure de carbone (3), le sulfure de carbone (4), l'esprit de bois (5) et l'acide sulfureux (6).

Machines à gaz. — La machine au gaz de l'éclairage (7) associe naturellement ce fluide à une certaine quantité d'air. Elle peut en quelque sorte être considérée en principe comme une machine à air dans laquelle le générateur est confondu avec le cylindre, en raison du mélange intime de cet air avec un combustible spécial, aériforme comme lui. Cette idée remonte (8) à Lebon, ingénieur des ponts et chaussées (1799). Après des essais de Rivaz en 1807 (9), Samuel Brown en 1823 (10), Demiohelis et Monnier en 1840, Talbot (1840) et Cristoforis (11), on arrive comme véritable réalisation

---

(1) Par du Tremblay, sur le navire qui portait son nom, en 1840. Une machine fixe a fonctionné également à la cristallerie de la Guillotière (*Manuel du condenseur de machines à vapeur combinées ou machines binaires*, par Paul-Vincent du Tremblay, Lyon 1850).

Rapport de George Rennie, 1852.

Rapport de E. Gouin sur l'essai du navire *le Brésil*, 1855, lithographié.

Mémoire de James Janneson à l'Institut des ingénieurs civils de Londres, février 1859.

(2) Par Lafond, lieutenant de vaisseau sur le navire *le Galilée*.

(3) Par du Tremblay.

(4) Par M. Ellis, en Amérique (Sonnet : *Dictionnaire de mathématiques appliquées*, page 734 ; Macquorn Rankine : *Manuel de la machine à vapeur*, note de M. Richard, page 683).

(5) Par M. Frot, ingénieur de la marine (*Bulletin de l'Association scientifique*, mars 1870, page 170).

(6) Proposé en 1878.

(7) Armengaud jeune : *Conférence sur les moteurs à gaz à l'Exposition de 1878*, Paris, 1879, Imprimerie nationale.

Historique de ces machines par M. Tresca.

Notice de M. Gaudry.

Struve : *Essai théorique et pratique sur la dilatation des gaz, et étude des perfectionnements apportés récemment aux moteurs à gaz*, 1865, in-8°.

Dioscosotti et Bottiglia : Sur le prix de revient de la force motrice du ga (*l'Ingegneria civile*, tome X, page 183).

Cazin : Expériences sur les moteurs à gaz (*Les mondes*, 1866 et 1868).

(8) Brevet de Lebon, en 1799.

(9) Jules Armengaud, *Aéronaute*, avril 1878, page 112.

(10) *Ibidem*, page 112.

(11) *Ibidem*, page 114.

pratique à Hugon en 1858 (1) et à Lenoir en 1859 (2); puis aux machines Achet (3), Bischop (4), Haenlein (5), Ravel (6), et surtout Louis Simon (7) et Otto Langen (8).

On obtient dans ces moteurs une température très-élevée, ce qui est une condition favorable, mais tellement exagérée dans le cas actuel (car les évaluations varient entre 1.200 et 2.800 degrés), qu'on est ordinairement obligé de détruire une partie de l'effet utile par une enveloppe réfrigérante formée d'un courant d'eau. De plus, l'action est extrêmement brusque et même brutale, la phase de pleine pression étant réduite presque à rien et remplacée par une véritable explosion. On y a obvié dans la machine Hugon par une injection d'eau, qui par sa volatilisation, diminue d'autant l'exagération de température et prolonge la durée de cet effet maximum.

Les moteurs à gaz se recommandent pour les petites industries et les emplois de peu de durée, par la suppression du générateur et des transports de combustible, l'instantanéité de la mise en train et de la mise hors feu, l'absence d'explosions ou du moins des conséquences auxquelles elles exposent avec les chaudières à grande provision d'eau, et enfin une grande propreté. Ajoutons qu'en ce qui concerne spécialement l'aéronautique, ces moteurs présentent l'avantage qu'on a le gaz sous la main dans le ballon

---

(1) Tresca, *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, 1866.
Cazin, *Les mondes*, 1863.
Haton de la Goupillière, *Revue des cours scientifiques*, 18 mai 1867.
(2) Pochet : *Nouvelle mécanique industrielle*, page 215.
Tresca, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome II, page 524.
Tresca, *Annales des mines*, 5e série, tome XIX, page 433.
Jacqmin : *Traité des machines à vapeur*, page 85.
Cazin, *Cosmos*, 1863.
(3) Machine rotative (journal *l'Éclairage au gaz*, 20 mai 1870).
(4) Construite par Mignon et Rouart, figurant dans l'exposition américaine (*The iron age*, 6 février 1879, page 11; *Les mondes*, tome XLVI, page 36; *Engineering*, 25 octobre 1878, page 331).
(5) Frion, *Aéronaute*, novembre 1876, page 299.
Armengaud, *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 15 février 1878.
(6) Machine oscillante (*Écho des mines*, 22 février 1877, page 119).
(7) De Nottingham. Cette machine figurait à l'exposition anglaise. Le *Nottingham-vertical* n'a pas d'enveloppe d'eau froide, le *Nottingham-éclipse* est à gaz et à vapeur (*The Engineer*, 17 janvier 1879, page 43).
(8) Tresca, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e sér., t. I, p. 116 et 166, et t. II, p. 524.
Schmitz, *Annuaire de la Société des arts et métiers*, 1867.
Éclairage au gaz, 5 juin 1870.

lui-même, bien que ce soit, à la vérité, au détriment de la force ascensionnelle (1).

La consommation dans les dernières machines Otto est de 800 à 1.200 litres de gaz par cheval et par heure, c'est-à dire moins de moitié de ce qu'on employait dans les premiers moteurs Lenoir (2). M. Tresca a fait remarquer que le prix de revient de la force d'un kilogrammètre par seconde, s'est abaissé ainsi à 1 centime par heure, ce qui constitue un fait économique d'une grande portée.

Une difficulté assez sérieuse était celle de l'inflammation. L'électricité fournit à M. Lenoir l'artifice convenable. Mais M. Hugon a employé une solution meilleure avec des tiroirs porteurs d'un bec de gaz qui vient s'allumer au dehors à un feu fixe et porte la flamme dans l'intérieur. Il s'éteint naturellement par l'explosion, mais il revient s'allumer de nouveau à l'extérieur.

Une question très-essentielle du fonctionnement de ces appareils consiste dans le dosage rigoureux de l'air et du gaz. M. Deprez a fait breveter un doseur-mélangeur très-ingénieux, dans lequel un robinet animé d'une rotation très-rapide, présente une fente qui passe devant deux secteurs dont les angles sont déterminés à volonté. L'un communique avec l'atmosphère, l'autre avec le réservoir où est renfermé le gaz avec une surpression de quelques centimètres d'eau. Le piston moteur, en se déplaçant, aspire forcément ces fluides l'un après l'autre et en quantités proportionnelles aux angles décrits.

Dans les premières machines Otto le piston était libre, lancé verticalement et sans connexion avec le mécanisme, qu'il n'actionnait que pendant la descente, effectuée plus régulièrement par l'action de la pesanteur. Dans le nouveau type à demi-simple effet, on comprime le mélange à 2 atmosphères effectives. On le rend par là plus inflammable avec de moindres proportions de gaz. La température, diluée dans une plus grande quantité d'air, est moins vive et l'allure plus douce. La machine est seulement un peu plus volumineuse.

Machine à pétrole. — La machine à pétrole (3) réalise le même

---

(1) Dupuy de Lôme : Note sur l'aérostat à hélice construit pour le service de l'État, 1872.
Paul Martin Saint-Léon (*Aéronaute*, août 1878, page 269).

(2) *Engineering*, 23 août 1878, page 155.

(3) *Revue industrielle*, 25 février 1876, page 36.
Moteur à hydrocarbure de Hureau de Villeneuve (*Année scientifique et industrielle*, de Louis Figuier, 1872).

principe d'échauffement direct de l'air que la machine à gaz, en le mélangeant intimement avec le combustible employé sous forme liquide et non plus à l'état gazeux. Nous retrouverons encore dans un instant la même idée avec un combustible solide, dans la machine à poussière de charbon.

L'huile de pétrole est pulvérisée à l'aide d'un jet forcé sous pression qui se brise contre un obstacle. La machine est à *demi-simple effet*. Il faut associer deux cylindres pour obtenir un appareil à simple effet, et quatre si l'on veut créer le fonctionnement plus constant à double effet. Dans la première course simple directe l'explosion pousse le piston. Dans la seconde, rétrograde, celui-ci balaye les gaz brûlés. Dans la nouvelle course simple, directe, il aspire l'air pur, et dans le retour il le comprime pour préparer l'explosion de la nouvelle évolution.

Ce moteur a été réalisé par Brayton (1), Deprez et Lambrigot, Julius Hock (2).

Le professeur H. Fritz, de l'École polytechnique de Zurich, a publié (3) un tableau des degrés comparatifs d'utilisation du combustible par les machines à feu de types variés. Les grandes compound à vapeur y tiennent le premier rang; viennent ensuite le moteur à pétrole de Hock, dont je viens de parler, la machine Otto Langen, et enfin les autres machines à gaz et à air chaud. Quant aux appareils à vapeur, ils s'échelonnent dans toute cette série, de manière à la terminer par les petits moteurs à vapeur sans détente ni condensation, considérés comme l'équivalent des moins bonnes machines à air chaud.

Machines à poussière de charbon. — On connaît les dangers que produit dans les mines l'inflammation des poussières de charbon, ainsi que les applications de ce genre de combustible au chauffage des générateurs (page 169). Il était naturel que ce mode fût tenté pour échauffer directement l'air dans le cylindre.

Le premier essai dans cette direction est dû à Niepce (4), avec de la poudre de lycopode. De nos jours, l'attention s'y reporte avec des

---

(1) E. Farcot, *Aéronaute*, août 1876, page 209.
Engineering, 19 juillet 1878, page 46.
(2) André Duté Poitevin, *Aéronaute*, août 1877, page 215, et avril 1878, page 112,
Massenet (*El plata industrial*).
(3) *Dingler's Polytechnisches*, Band 219, page 185.
(4) *Traité complet de mécanique appliquée aux arts*, par Borgnis, p. 197.
Annales des mines, 7ᵉ série, tome VII, page 176.

mécanismes tout à fait analogues à celui de la machine à pétrole. Un moteur à poudre de charbon a fonctionné à Laigle chez M. Mouchet, fabricant d'aiguilles (1). Des expériences ont été faites également pour le gouvernement américain (2). Elles n'ont, du reste, pas été très-favorables. Avec la houille grasse, il y avait à peu près égalité avec le mode ordinaire de chauffage, on perdait 8 p. 100 avec la houille sèche et 40 p. 100 avec l'anthracite pulvérisée.

Machines à acide carbonique. — La tentative la plus extraordinaire qu'on puisse enregistrer dans cet ordre d'idées originales est l'emploi de l'acide carbonique, depuis qu'il a été liquéfié par Faraday. Un brevet a été pris dans ce sens en 1855 par Ghilliano et Cristin. Un autre inventeur a imaginé une sorte d'appareil Thilorier avec une pression motrice d'environ 150 atmosphères et un condenseur à 50 atmosphères (3). De telles idées ne supportent pas l'examen.

M. Bord, de Bordeaux (4), se proposait plus modestement de marcher à 6 atmosphères avec un mélange d'acide carbonique et d'air. Mais on n'aperçoit pas bien l'avantage de cette combinaison sur les procédés ordinaires.

Machines à ammoniaque. — Dans les appareils précédents, on emploie comme agent dilatable un corps défini et conservant sa composition chimique, comme l'air, l'eau, etc. On a eu également l'idée de recourir à la dissociation d'une dissolution très-facile à séparer par la chaleur et à reconstituer par le refroidissement. Nul corps ne présentait pour la pratique ces conditions à un degré plus marqué que le gaz ammoniac, dont on connaît l'extraordinaire solubilité dans l'eau.

A l'ammoniaque gazeuse se joint naturellement, pour l'action dynamique, une certaine quantité d'eau vaporisée par la chaleur, un sixième environ. Le mélange, après avoir agi sur le piston, passe dans un condenseur de surface et un dissoluteur qui complète la liquéfaction; après quoi une pompe alimentaire le refoule dans la chaudière. Le cuivre et le bronze ne peuvent figurer dans

(1) Dumas, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXVII, p. 121.
(2) *Journal of Franklin Institute*, 1871.
Annual report of the chief of the United States Bureau of steam Engineers for 1876.
Engineering and mining Journal, tome XXI, page 13.
(3) Armengaud : *Traité des machines à vapeur*, tome II, page 457.
(4) *Les mondes*, tome XXXI, page 246.

ces appareils ; l'ammoniaque les attaque. On est obligé de les remplacer par le fer.

M. Frot, ingénieur de la marine, a apporté une grande persévérance dans les essais destinés à rendre industrielle cette application de l'ammoniaque (1). M. Émile Zamin a également construit un moteur-ammoniaque à la Nouvelle-Orléans (2).

M. Pallard (3) a proposé l'emploi de réservoirs mobiles à ammoniaque comprimée. Ils sont chargés dans une usine spéciale et transportés dans les ateliers pour lesquels, par exemple, on redoute le voisinage du feu, ce qui en exclut les machines à vapeur et à gaz. L'ammoniaque, en se détendant, fait marcher un récepteur et se liquéfie dans un condenseur, mobile comme le récipient lui-même. Ce qui est particulièrement original dans le projet de M. Pallard, consiste à opposer l'un à l'autre le refroidissement du récipient et l'échauffement du condenseur, qui, séparés l'un de l'autre, nécessiteraient deux courants extérieurs d'eau chaude et d'eau froide. Il enferme pour cela le récipient dans le condenseur, en calculant avec précision les éléments du système pour obtenir une compensation exacte dans cet antagonisme. Cet ensemble d'idées est certainement fort ingénieux, mais bien compliqué. De plus, on ne peut s'empêcher de faire remarquer que l'air comprimé fournirait un agent susceptible d'une utilisation absolument identique et plus simple à réaliser.

L'ammoniaque figure également comme moteur dans une pompe à impulsion directe de M. Théophile Foucault (4), analogue aux pompes à impulsion de vapeur (page 100). Seulement une couche d'huile de pétrole sépare ici l'ammoniaque motrice de l'eau à élever, en raison de sa solubilité, qui sans cela l'y ferait disparaître.

Citons encore la proposition de MM. Tommasi et Francisque Michel (5) pour le transport souterrain des dépêches dans des tubes au moyen de convois actionnés par l'ammoniaque générée ou condensée sur l'une et l'autre face alternativement, par des appareils placés aux extrémités.

Je mentionnerai de même les locomotives de tramways à l'am-

---

(1) Frot, *Bulletin de l'Association scientifique de France*, mars 1870, page 170.

(2) Tellier, *Les mondes*, tome XXV, page 525.

Comptes rendus de l'Académie des sciences, tome LX, page 59.

(3) Haton de la Goupillière, *Bulletin des sociétés savantes*, séance du comité des sociétés savantes du 10 juillet 1878.

(4) *Les mondes*, tome XLI, page 389.

(5) *Ibidem*, tome XXXI, page 542.

moniaque chauffées à l'eau chaude, que le docteur Zamin a fait fonctionner à la Nouvelle-Orléans (1).

Machines à poudre explosive. — Dans les fulmi-moteurs, on utilise dynamiquement l'énorme expansion de la poudre à canon réduite en gaz par l'action chimique de ses éléments. La première idée de ces appareils a été émise par Huyghens en 1678 et Hautefeuille en 1680. Papin, en 1688, en a fait fonctionner une (2). M. Gros a construit en 1865 une machine-revolver dont les canons détonaient successivement dans un générateur à 15 atmosphères, d'où le gaz était admis dans un récepteur à tiroir. Des mécanismes automatiques faisaient tourner le revolver, enlevaient les vieilles cartouches et en introduisaient de nouvelles.

M. Thomas Shaw, ingénieur américain, a eu l'idée d'opérer à l'aide de la poudre l'enfoncement des pilotis (3). Une cartouche est déposée sur la tête du pieu. Le mouton l'écrase, et l'explosion force l'enfoncement, en même temps qu'elle relève le mouton jusqu'au déclic qui le retient suspendu.

M. Renoir avait même mis en avant le projet d'une machine à nitroglycérine, et MM. Hureau de Villeneuve et Pénaud l'emploi de divers explosifs azotés, en mettant en présence les éléments primitifs pour que le composé se forme et détone du même coup (4). Ce ne sont du reste là que des idées hasardées sans sanction pratique, et introduites par la préoccupation exclusive de trouver pour l'aérostation un moteur particulièrement léger à égalité de puissance.

Machines à huile. — De ce dernier exemple d'une expansion absolument excessive, je rapprocherai celui de la dilatation aussi réduite que possible, à savoir celle d'un liquide. On conçoit que, malgré la petitesse de cette dilatation, on puisse avoir la prétention de recueillir un certain travail en raison des énormes forces mises ainsi en jeu. Les liquides sont, en effet, à peu près incompressibles, à moins que l'on n'exerce sur leur surface des forces démesurées.

---

(1) *Annales des ponts et chaussées*, 5e série, tome XVI, page 261.
Proceedings of the Institute of civil Engineers, tome LVI.
(2) Armengaud jeune : *Conférence sur les machines à gaz*, 1879, Imprimerie nationale.
(3) *Gazette des ingénieurs de Hanovre.*
Les mondes, tome XXXVII, page 309.
(4) *Aéronaute*, octobre 1874, page 301.

M. Tommasi a proposé, sous le nom de *moteur hydrothermique*, une machine à huile dont le générateur est chauffé par la vapeur d'échappement d'un moteur ordinaire, ce qui rattacherait en quelque sorte cette conception aux machines à vapeur combinées. Les avantages qu'il en attend sont la petitesse du générateur, qui est d'un litre par force de cheval, et le peu de danger des explosions, puisque le liquide n'est susceptible que d'une dilatation insignifiante (1).

M. Foilard a également donné le projet d'un moteur analogue fondé sur la dilatation des liquides (2).

Machines solaires. — Le soleil est, comme on l'a fait remarquer à juste titre, la source première de toutes les énergies dynamiques qui se développent à la surface de la terre. Sans parler du rôle qu'il a joué à l'époque houillère et dont nous recueillons aujourd'hui les fruits, ainsi que de l'évaporation marine qui entretient les chutes d'eau, cet astre déverse journellement sur notre planète une quantité prodigieuse de chaleur qui serait un réservoir inépuisable de travail le jour où l'on saurait la capter en vue de cette destination. Cette application a attiré depuis longtemps des investigations persévérantes (3). On trouve un premier essai de machines solaires jusque dans les *Pneumatiques* de Héron d'Alexandrie. A partir du XVIe siècle, Porta, Drebbel, Fludd, Salomon de Caus, Martini, le P. Kircher, Milliet de Châles, Bélidor, du Carla, de la Cliche, Olivier Évans, et de nos jours Ericsson, le capitaine Deliancourt, l'abbé Allégret, le prince Romakoff, le docteur Haro, ont suivi la même voie.

M. Mouchot est arrivé dernièrement à une application plus réelle qui a déjà donné des résultats pratiques. Son appareil figu-

(1) *Les mondes*, tomes XXX, page 494, et XXXVIII, page 589.
Revue universelle des mines et des usines, tome XXIV, page 409.

(2) *Aéronaute*, mai 1871.

(3) Cazin, *Revue des cours scientifiques*, 19 février 1876.
Mouchot : *La chaleur solaire et ses applications industrielles*, Paris, Gauthier-Villars, 1869, avec un intéressant historique de la question.
Comptes rendus de l'Académie des sciences, tomes LXXXI, page 571, et LXXXVI, page 1019.
Les récepteurs solaires, par Abel Piffre (*Annales industrielles*, 1879).
Conférence de M. Abel Piffre au Trocadéro (*Comptes rendus sténographiques*, etc., 25 août 1878, Imprimerie nationale).
Engineering, 31 décembre 1875, page 511.
Engineer, 17 janvier 1879, page 39.
Bulletin de la Société des sciences de Nancy, 2e série, tome III, page 91.

rait à l'Exposition du Trocadéro. Il consiste en un grand réflecteur tronc-conique monté à la manière d'un héliostat et condensant la chaleur sur une ligne focale située suivant son axe de figure et occupée par une petite chaudière noircie. Une enveloppe de verre augmente l'action calorifique, d'après l'influence bien connue qui lui est propre pour retenir la chaleur obscure après avoir été traversée par l'irradiation directe.

Indépendamment de la production du travail dynamique, M. Mouchot a destiné son appareil à des applications purement techniques de toutes sortes. L'une des plus intéressantes est celle qui emploie l'insolation la plus ardente à la production de la glace au moyen d'un appareil Carré (1).

Ai-je besoin, en terminant ce chapitre, de redire comme au commencement que, sauf les machines à gaz, à air chaud, et peut-être le moteur à ammoniaque, toutes les autres machines à feu sont aujourd'hui à peu près abandonnées ou du moins sans aucun rôle industriel sérieux pour les ingénieurs des compagnies? Il n'en était pas moins utile, je pense, de passer en revue ces appareils auxquels on ne saurait refuser d'avoir beaucoup contribué à élargir et à préciser, en vue des applications, bien des idées relatives à la théorie mécanique de la chaleur.

§ XVI. — Machines à air.

Moteurs à air comprimé. — Parmi les appareils fondés sur l'emploi de l'air, il y a lieu de distinguer les moteurs et les opérateurs. Dans les premiers, l'air sert à utiliser l'énergie dynamique sous les trois formes dont elle est susceptible, à savoir : la chaleur, le travail potentiel et la force vive. Le premier mode donne naissance aux machines à air chaud dont j'ai déjà parlé (p. 183) et sur lesquels je n'ai pas à revenir. Le second fournit les moteurs à air comprimé, et le troisième les moteurs éoliens.

Les moteurs à air comprimé (2) ont, en principe, un mécanisme

---

(1) Buchwalder, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXVIII, p. 555.

(2) Mallard : Étude théorique sur la machine à air comprimé (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, tome XII, page 615).

Pernolet : *L'air comprimé et ses applications*, pages 37 et 532.

Pochet : *Nouvelle mécanique industrielle*, page 230.

Mémoire de M. Cornet.

Mativa : Compresseurs (*Revue universelle des mines et des usines*, 2e série, tome III, page 668.

Devillez : *Percement du tunnel sous les Alpes et emploi des machines*

semblable à celui des machines à vapeur. Seulement le rendement propre de ces dispositifs se superpose à celui du compresseur qui a fourni préalablement l'air en tension. Aussi le résultat est-il assez faible, comme il est d'ailleurs inévitable pour un moteur de seconde main. Il est difficile de recueillir plus de la moitié du travail dépensé par le moteur à vapeur pour la compression de l'air.

Une des circonstances essentielles qui caractérise ces appareils est le refroidissement produit par la détente qui, en agissant sur de l'air humide, peut congeler la vapeur dans la distribution et en entraver le jeu. On est, pour ce motif, obligé de les garnir d'enveloppes à eau chaude et parfois de chaux éteinte (1). M. Siemens a proposé, quand le récepteur est voisin du compresseur, de réchauffer la distribution avec l'eau échauffée par la compression de l'air. C'est le même point de vue que celui auquel s'est placé M. Pallard pour les moteurs à ammoniaque (p. 192). M. Cornet a proposé l'injection d'eau chaude pulvérisée sous la pression même de l'air. Dans le système Mékarski, on emploie de l'air, non pas sec et froid, mais saturé de vapeur chaude pour une proportion d'un cinquième à un sixième. Ce mélange s'obtient en faisant traverser par l'air une bouillotte dont l'eau est chauffée à 150 degrés sous pression (2). Du reste, cette fraîcheur même de l'échappement, quand on a pu éviter la formation de la glace dans les tiroirs, a son utilité dans les mines et remplace par un avantage le grand inconvénient de la vapeur qu'on ne saurait évacuer que dans les environs immédiats d'un puits, pour y installer une sortie spéciale de ce fluide incommode.

Aussi ces machines jouent-elles déjà dans l'exploitation un rôle des plus utiles qui ne peut qu'aller en grandissant. On les a employées pour l'extraction intérieure à Chalonnes, Govan, Scot-Lane, Bridge-Pite, Ronchamp, Bruay, Sars-Longchamps; au fonçage sous stot de Saint-Louis (Saint-Étienne); pour des tractions mécaniques à Ryhope-Colliery, Powel-Duffryn; et dans de nombreux

---

dans l'intérieur des mines, Liége, 1863.

Trasenster, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXXIII, p. 413.

Ribourt, *Société des ingénieurs civils*, 18 juin 1875.

The theory of closed air engines, by Slaby (*Proceedings of the Institution of civil Engineers*, tome LVI.

Verhandlungen des Vereines zur Beforderung des Gewerbfleisser, 1879, page 376.

(1) Comme au charbonnage de Grisœil en 1866.

(2) *Machines à air comprimé pour l'exploitation mécanique des tramways, système Mékarski*. Paris, 1878, chez Éthiou-Pérou.

appareils d'épuisement intérieur, au Montceau, dans le pays de Galles, et dans le bassin de Sarrebrück (1). Je n'ai pas d'ailleurs à revenir en ce moment sur l'emploi de l'air comprimé pour les perforatrices ou les locomotives et le foncement des puits par le système Triger.

En général, on ne dépasse pas pour ces moteurs des pressions de 3 atmosphères ou tout au plus de 4 ou 5. On a fait des essais de 8 atmosphères qui ont été aussitôt entravés par la formation de la glace. Presque toujours du reste on marche à pleine pression ou avec de faibles détentes.

Moteurs éoliens. — En ce qui consiste les moteurs actionnés par le vent, on doit une mention spéciale à la *turbine éolienne* de M. Bollée du Mans. Cet élégant appareil attirait les regards à l'Exposition universelle par le jeu de lumière qu'il produit en se détachant sur le ciel pendant sa rotation. L'ensemble se compose d'une roue formée de contre-aubes fixes placée dans un plan vertical perpendiculaire au vent, et d'une turbine juxtaposée. L'air débité par la première détermine la rotation de la seconde, absolument comme l'eau pour la turbine Fontaine. Pour orienter le système, on l'a monté sur un chariot à crémaillère circulaire qui lui permet de pivoter autour d'un axe vertical. Ce n'est pas, du reste, comme dans la plupart des autres récepteurs éoliens, une simple girouette qui détermine ce mouvement, mais une petite turbine excentrée qui tourne sur son axe tant que son propre plan n'est pas parallèle au vent, et qu'on a soin de placer perpendiculairement à la turbine motrice. La petite turbine actionne le chariot et détermine ainsi l'orientation. Je dois dire toutefois que, pour se garantir contre les rafales trop brisantes, on cherche à présenter le récepteur au vent, non pas dans un sens absolument perpendiculaire, mais sous une certaine obliquité que l'on fait en outre croître avec la vitesse, de manière à réduire celle-ci à une de ses composantes par rapport à la roue. Un petit pèse-vent, qu'il serait trop long de décrire ici, permet d'une manière très-ingénieuse d'obtenir ce résultat.

Je citerai encore parmi les nouveaux moteurs éoliens le *pantanémone* Sanderson (2), sorte de grande hélice exposée au vent et

(1) Pernolet : *Air comprimé*, page 516.
Briard et Weiler : *Tractions mécaniques*, page 177.
(2) Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 2e série, tome XVII, page 492.
Journal d'agriculture pratique, 31 mars 1870, page 457.

orientée à l'aide d'une girouette. Quelques autres panémones figuraient également à l'Exposition du Trocadéro; mais on ne peut guère attendre aucun service sérieux de ces appareils dans l'industrie des mines.

Machines frigorifiques. — Les opérateurs fondés sur l'emploi de l'air emploient, tout comme les moteurs, l'énergie dynamique sous les trois formes dont elle est susceptible. Ils servent dans les machines frigorifiques à déterminer des variations de température; dans les compresseurs, à emmagasiner le travail potentiel par la tension, et dans les ventilateurs à créer la force vive (1).

Les machines frigorifiques constituent l'une des plus intéressantes innovations de ces derniers temps (2). L'appareil Carré a ouvert cette voie par l'emploi de l'ammoniaque. La machine de M. Raoul Pictet, dont celle de Daniel Holden de Philadelphie (3) n'est guère qu'une variante, produit d'énormes quantités de glace au moyen de l'acide sulfureux. Enfin, l'air fonctionne seul par sa détente dans la machine de Windhausen de Brunswich et dans celle de Giffard. A cet égard il n'est pas besoin de rappeler que l'un des événements scientifiques les plus considérables qui viennent de s'accomplir est la liquéfaction des derniers gaz rebelles jusqu'alors à ce changement d'état. Cette belle expérience a été effectuée par MM. Cailletet et Raoul Pictet, opérant isolément et par des voies différentes, mais fondées pourtant sur le principe commun de l'énorme refroidissement que produit la détente. On a combiné pour cela un froid de 140 degrés avec une pression de 500 atmosphères pour l'oxygène et de 650 pour l'hydrogène (4).

(1) Pour les motifs indiqués ci-dessus (page 106), je n'aurai pas à parler ici des ventilateurs.

(2) Ledoux : Machines à froid (*Annales des mines*, 7e sér., t. XIV, p. 121).

Terquem, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXIV, p. 602 et 648).

Baure, *Compte rendu mensuel*, juin 1876, page 8.

J. Armengaud : Production mécanique du froid par la détente de l'air (*Annales de physique et de chimie*, juillet et août 1874).

Machine Giffard, *Annales du génie civil*, tome XIII, page 773.

Decharno : Refroidissement par l'attraction capillaire et la vaporisation (*Annales de physique et de chimie*, octobre 1876).

Engineering, 1877, 1er volume, page 480.

Mémoires de Rouart et de Linde, sur les machines à froid.

Pictet : Application de la thermodynamique à l'étude des liquides volatils *Annales de physique*, tome IX, page 180).

(3) *Les mondes*, tome XLIX, page 99.

(4) *Revue des sociétés savantes*, 3e série, tome I, page 167.

Le principe de l'appareil Giffard est le suivant. On comprime l'air par l'application d'un travail moteur. Il s'échauffe; mais on le dépouille de ce calorique par l'application d'un refroidissement extérieur, à l'aide d'un courant d'eau. La température étant ainsi redescendue, on laisse perdre par la détente la tension qui avait été réalisée. Il se produit alors un nouvel abaissement de température qui sera très-considérable si la chute de pression est importante. On réchauffe alors cet air aux dépens de la chaleur des corps que l'on a spécialement en vue d'en dépouiller, et qui peuvent être amenés par ce procédé à des températures excessivement basses. L'air est alors revenu à son état initial, et le cycle est terminé.

S'il s'agit de liquides volatils, le principe n'est que peu modifié. On comprime la vapeur, et on la refroidit comme ci-dessus. Seulement cette circonstance a pour effet de la ramener à l'état liquide. C'est ensuite sa vaporisation, au moment où l'on supprime la pression, qui opère le refroidissement en dépouillant les corps proposés de leur température pour fournir la chaleur latente de constitution de cette vapeur.

L'éther sulfurique a été employé en premier lieu, mais presque aussitôt abandonné, attendu que sa pression devient trop faible aux basses températures (1). L'ammoniaque a de beaucoup plus grandes tensions (2), mais qui deviennent exorbitantes quand la température s'élève. L'acide sulfureux (3), et surtout l'éther méthylique (4), évitent ces deux excès et se comportent très-convenablement dans la pratique. C'est ce dernier liquide qui a été employé sur le navire *le Frigorifique*.

Compresseurs. — Le point de départ des appareils de compression (5) a été le système de M. de Caligny (6). Mais on n'emploie

---

(1) Regnault : *Mémoire sur la force élastique des vapeurs* (collection in-4°, tome II, page 393).

(2) *Ibidem*, page 601.

(3) *Ibidem*, page 590.

(4) *Ibidem*, page 593.

(5) On peut consulter, outre les sources qui ont été indiquées page 195, note 2, les documents suivants :

Alfred Évrard : *Traité pratique d'exploitation des mines*, tome I, page 122.

Colladon, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXII, p. 372.

Hasslacher, *Annales des mines*, 6e série, tome XVII, page 527.

Tonnelier, *Ibidem*, tome III, page 281.

Jeanson : *Annuaire des mines et de la métallurgie françaises*, 1878-1879, page 398.

Chansselle, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXXI, p. 455.

(6) De Saint-Robert, *Annales des mines*, 1863.

Cazin, *Les mondes*, 2e volume de 1863.

plus guère aujourd'hui d'une manière courante que des machines à piston dont les dispositifs présentent, du reste, une assez grande variété. Le *Traité de l'air comprimé* de M. Pernolet décrit avec détail environ une centaine de compresseurs ou de machines soufflantes, parmi lesquelles, d'ailleurs, un assez grand nombre ne sont séparés que par des nuances.

Le point capital est toujours la question de l'échauffement que produit la compression. Le calcul a montré à M. l'ingénieur en chef des mines Mallard (1) l'avantage théorique que l'on trouve dans l'emploi des cylindres étagés, c'est-à-dire dans le fractionnement de l'opération, en effectuant la compression en plusieurs fois, avec refroidissement dans chaque intervalle. On diminue par là l'élévation de la température d'une manière importante, et le travail d'une quantité encore sensible en théorie, mais qui en fait ne compenserait pas la complication introduite par ce mode spécial. Le moyen véritablement pratique reste uniquement la mise en présence de l'air et de l'eau froide, soit au moyen d'un courant extérieur que M. Colladon avait fait pénétrer jusque dans la tige et le corps du piston, soit à l'état de bain intérieur ou de piston hydraulique, soit enfin au moyen d'une pulvérisation sous la forme d'une pluie fine intimement mélangée à l'air. Elle constitue ordinairement environ $\frac{1}{600}$ de son volume.

On a parfois doublé d'une chemise de bronze l'intérieur des cylindres pour éviter l'oxydation et ménager les garnitures du piston. Mais cette précaution paraît embarrassante et inutile. Pour le piston lui-même on peut recommander la garniture Giffard, qui consiste en un morceau de cuir ou de caoutchouc logé dans une rainure du noyau métallique. On obtient aussi de bons résultats avec l'antifriction, surtout pour remplacer la boîte à étoupes; mais le système Ransbottom, ou les garnitures à segments, sont encore les plus employés, surtout en bronze.

Les clapets souffrent souvent de la chaleur et ont pour effet d'augmenter l'espace nuisible. Les soupapes échappent à cet inconvénient. On les fait en acier, avec siége de bronze. Elles sont maintenues par un ressort et parfois commandées par le mécanisme lui-même, à moins qu'elles ne soient extrêmement légères. Les tiroirs se sont peu répandus (2).

On est arrivé au chiffre de 60 tours par minute. La vitesse du piston ne peut dépasser 1^{m},50, ou surtout 2 mètres, s'il est à action

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, tome XII, page 615.

(2) Pernolet : *L'air comprimé.*

directe. Il faut la tenir au-dessous de $0^m,60$ dans le compresseur à bain intérieur. Cette circonstance oblige alors à avoir un moteur très-lent ou des engrenages, et un compresseur très-volumineux. Le rendement ne dépasse pas 0,45 dans les appareils fondés sur l'entraînement sans piston. Il peut atteindre 0,80 dans les compresseurs à piston d'une exécution soignée. On a même obtenu 0,95 avec une grande lenteur et une faible pression; de même qu'on est tombé bien au-dessous de 0,75 dans des conditions opposées. La pression, qui est ordinairement comprise entre 2 et 4 atmosphères, a parfois dépassé 8 atmosphères. MM. Sautter et Lemonnier, qui sont arrivés à une grande perfection dans la construction de ces appareils, ont réalisé le chiffre de 30 atmosphères pour les locomotives Mékarski.

§ XVII. — Appareils d'observation.

Indicateurs. — L'indicateur de Watt est resté le type fondamental des appareils destinés à l'étude du fonctionnement de la vapeur. Il a cependant reçu un grand nombre de perfectionnements fort importants. On peut citer sous ce rapport les indicateurs de Ashton et Storey (1), Clair, Cody, Depres (2), Duvergier (3), Hennant, Mallet (4), Richard (5). Il convient d'y joindre pour mémoire le remarquable wagon-dynamomètre de M. Marcel Deprez, qui figurait à l'Exposition, mais qui concerne trop directement l'industrie des chemins de fer pour que nous nous en occupions ici.

Le défaut principal de l'indicateur primitif consistait dans le *lancé* du ressort qui venait mêler l'influence de ses oscillations élastiques aux variations de la pression. Aussi les diagrammes n'étaient-ils pas identiques à chaque course, et Clair s'était proposé de les séparer à la suite l'un de l'autre sur une bande indéfinie, au lieu de les disposer en courbe fermée. Ce très-ingénieux mécanisme a beaucoup perdu de son intérêt depuis qu'on sait que les différences en question constituent en grande partie des perturbations sans valeur. Mais il retrouve cependant une utilité nouvelle pour les machines d'extraction à détente automatique variable pour chaque tour.

(1) Habets, *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXXV, p. 25.
(2) *Congrès de l'Association française à Clermont*, 1876, page 200.
(3) *Congrès de l'Association française au Havre*, 1877, page 219.
(4) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXII, page 1331.
(5) *Revue universelle des mines et des usines*, t. XXV-XXVI, p. 168.

M. Richard, pour obvier à cet inconvénient, s'était contenté d'employer un ressort très-dur. Mais comme par là il arrivait en même temps à éteindre la sensibilité, il avait soin d'amplifier les ordonnées géométriques dans un rapport notable.

M. Deprez a donné de cette difficulté une solution rigoureuse et bien préférable. A l'aide de butoirs, il ne permet à chaque instant au ressort qu'une excursion de 1 millimètre environ. Dès lors celui-ci ne fait qu'exécuter deux mouvements très-restreints, l'un à l'instant où, la détente affaiblissant la pression, le ressort, d'abord trop faible, reprend le dessus, et l'autre au moment où, la compression arrivant à reconstituer la pression, le ressort se trouve de nouveau refoulé vers le haut. Le crayon traduit ces effets par deux petits *décrochements* qui le font passer de l'horizontale qu'il trace pendant que le ressort reste collé sur le butoir supérieur, à celle qu'il décrira quand le petit piston sera appliqué contre l'arrêt inférieur. En laissant les choses ainsi disposées, on n'arriverait qu'à parcourir indéfiniment ces deux horizontales et les deux petites obliques. Mais on a soin d'abaisser progressivement, à l'aide d'une manivelle et d'une vis, le chapeau qui porte l'arrêt, de manière à tendre ainsi le ressort. Le crayon baisse donc proportionnellement à la pression, comme cela doit être, et l'on obtient de nouvelles horizontales avec des décrochements correspondant à des points différents de la course ; car le ressort, qui n'a plus la même force, ne se déclanchera pas aux mêmes instants de la détente et de la compression. On arrive ainsi à décrire le diagramme élément par élément, au lieu de le tracer d'un seul coup comme à l'ordinaire, de manière à écarter rigoureusement l'influence du lancé, puisque le mouvement est chaque fois arrêté court au moment où il vient de prendre naissance. La série de ces petites obliques dessine la courbe avec une grande netteté sur un fond finement strié par des horizontales.

Dans tous les indicateurs dérivés de celui de Watt, on fait conduire le papier par le piston moteur lui-même, pour former une courbe dynamométrique dans laquelle les abscisses soient proportionnelles aux espaces parcourus, en même temps que les ordonnées le sont aux pressions. Ils présentent tous, d'après cela, l'inconvénient de répartir sur une abscisse très-courte, car on est près du point mort, le tracé très-intéressant de la courbe de compression. M. Cody, pour élucider ce point spécial, a construit un indicateur qui est conduit directement par un mouvement d'horlogerie. La phase du rétablissement de la pression y est alors représentée absolument au même titre que les autres, et l'on peut

d'ailleurs ensuite, si on le veut, en déduire la courbe dynamométrique elle-même à l'aide d'une construction par points.

Dianémomètre. — Lorsqu'il s'agit, non plus, comme tout à l'heure, d'étudier le fonctionnement d'une machine construite, mais de préparer le projet d'un moteur à construire, on peut, pour ce qui concerne la distribution, suivre trois méthodes distinctes. En premier lieu, la voie analytique, en résolvant inversement par rapport aux éléments du tiroir les formules qui expriment en fonction de ces éléments les résultats essentiels de la distribution ; mais c'est de beaucoup le mode le moins employé. En second lieu, la méthode graphique : la courbe en œuf, les cercles de Zeuner, le diagramme de M. Deprez (1), etc. Enfin un procédé mécanique. Déjà M. Caballero (2) a proposé un dianémomètre de son invention. MM. Deprez et Garnier en ont fait breveter un autre extrêmement simple et pratique (3). Il s'étend d'ailleurs, quand on le veut, au mode de distribution elliptique (page 140), qui, avec les autres méthodes, compliquerait beaucoup les recherches. Il me serait impossible, sans de trop longs développements, d'expliquer ici le principe de cet appareil, qui commence, du reste, à être très-connu.

Machine à essayer les huiles. — La question du graissage prend tous les jours plus d'importance, et se chiffre, pour certaines compagnies, par des centaines de mille francs. Il devenait donc nécessaire d'introduire un moyen scientifique de comparaison entre les diverses matières grasses que l'on trouve dans le commerce (4). M. Napoli a construit, pour remplir ce but, un appareil que M. Deprez a perfectionné depuis et qui donne de bons résultats (5).

(1) Combes : *Études sur la machine à vapeur*, page 47.

(2) Couche : *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, tome III, page 328.

(3) *Bulletin de la Société d'encouragement*, tome XVIII, page 133.
Bulletin de la Société de l'industrie minérale, 2e série, tome I, page 45.
Revue universelle des mines et des usines, tome XXXI, page 18.

(4) Une méthode chimique d'étude des huiles par oxydabilité a été instituée par M. Auguste Gérardin (*Recherches nouvelles sur l'essai des huiles et le graissage*, par M. Auguste Gérardin, Paris, chez Baudry).
On peut consulter également la communication de M. Caillot sur le frictomètre à fléau hydraulique de MM. Fayol et Petit (*Compte rendu mensuel*, juin 1879, page 130).

(5) Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome IV, page 210.
Collignon, *Ibidem*, tome V, page 289.
Revue universelle des mines et des usines, 2e série, tome I, page 212.

L'huile est étalée sur un plateau tournant, pressé à l'aide de trois surfaces constantes par des poids variables mesurés par une longue romaine. L'arbre sollicite par sa rotation un ruban d'acier qui écarte de la verticale un pendule, et avec lui le crayon, d'une quantité linéaire proportionnelle à la force du frottement. En même temps un papier se déroule devant le crayon, de manière à former une courbe représentative. L'appareil porte en outre un totaliseur qui fournit d'un seul coup le chiffre du travail, et le diagramme en accuse d'un autre côté les moindres vicissitudes. Déjà cette machine a donné lieu à des études fort intéressantes en ce qui concerne les lois générales du frottement.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

EXPLOITATION DES MINES.

---

§ I. — Recherches de mines.

§ II. — Abatage.

§ VIII. — Épuisement.

§ IX. — Aérage, éclairage, accidents.

§ X. — Préparation mécanique des minerais.

SECONDE PARTIE.

MACHINES A VAPEUR.

---

§ XI. — Fonctionnement de la vapeur.

§ XII. — Organes de distribution.

§ XIII. — Types spéciaux de machines à vapeur.

§ XIV. — Chaudières.

NOTE

SUR

LES PROCÉDÉS DE PERFORATION AU DIAMANT

APPLIQUÉS AU SONDAGE DE NEUVILLE (ALLIER) (*).

Par M. BAURE, directeur des houillères de Bézenet (Allier).

Les travaux d'installation du sondage qui a été foré, dans la commune de Neuville, par la compagnie des forges de Châtillon et Commentry, ont été commencés dans le courant du mois de septembre 1875.

On a dû se préoccuper tout d'abord des moyens d'obtenir le volume d'eau nécessaire. Un puits, qui a rencontré des sables aquifères, fournissait 25 à 30 hectolitres à l'heure. Ce volume n'étant pas suffisant, on a été obligé de construire un bassin de décantation qui a permis d'employer plusieurs fois la même eau.

Ce bassin, représenté en coupe dans la *fig.* 4, Pl. I, est divisé en quatre compartiments, dont trois ont été remplis d'escarbilles de coke sur 1m 50 de hauteur. Les eaux boueuses sortant du trou de sonde arrivent directement dans le compartiment A, traversent en descendant une première couche d'escarbilles, pénètrent dans le compartiment B, en passant par les petits trous laissés au bas de la cloison en briques, se clarifient en parcourant un deuxième banc d'escarbilles et se déversent dans le compartiment C; lorsqu'elles atteignent le dernier compartiment D, elles sont assez claires pour pouvoir être employées au forage. Il est

(*) Le sondage de Neuville a été exécuté par la Continental-Diamond-rock-boring Company, représentée par M. Schmidtmann, de Leipzig.

presque inutile de dire qu'il est nécessaire de nettoyer fréquemment le premier compartiment et de changer les escarbilles tous les trois mois environ.

Avec plusieurs bassins de décantation, une venue d'eau de 5 hectolitres à l'heure serait suffisante pour alimenter la machine et renouveler l'eau que l'on perd en forant.

Puits supérieur dit d'installation.

Le puits qui forme la tête du trou de sonde est placé au centre de la tour ; il a traversé des terrains ébouleux et n'a pas pu, comme le voulait l'entrepreneur, atteindre une roche assez solide pour supporter la colonne de tuyaux en fonte qui guide l'outil au commencement du sondage et fournit un point d'appui pour suspendre les tubes de soutènement. Par suite des difficultés occasionnées par une orte venue d'eau à travers un banc de sable de 3^{m},05 d'épaisseur, on a dû arrêter le fonçage à 10^{m},30 de profondeur. Le puits a été entièrement muraillé et on a ensuite coulé à sa base une couche de béton de 2^{m},30 d'épaisseur, sur laquelle on a assis la colonne de tuyaux en fonte, qui a été entourée de maçonnerie sur une partie de sa hauteur. Les *fig.* 2 et 3, Pl. I, indiquent l'installation de ces tuyaux.

Le vide dans lequel se meut le contre-poids de la machine de forage, doit avoir une hauteur minimum de 4 mètres ; il est, en outre, utilisé pour diverses manœuvres.

Installation extérieure.

Afin d'activer les manœuvres qui prennent beaucoup de temps dans les sondages profonds, on a installé une tour en charpente de 26 mètres de hauteur, permettant d'extraire les tiges par tronçons de 16 mètres de longueur (*fig.* 6 et 7, Pl. I).

Divers bâtiments sont groupés à la base de la tour. Celui

du milieu M contient la machine locomobile qui actionne les appareils de forage, et renferme, en outre, un tour, une forge et des établis d'ajusteurs.

Dans le bâtiment G, qui forme l'aile gauche de la tour, se trouvent le bureau de l'ingénieur dirigeant le sondage, et l'atelier où l'on fait les ajustages délicats et le garnissage des couronnes à diamants.

L'aile droite D' de la tour présente aussi deux chambres, dont l'une sert au logement de deux contre-maîtres, et dont l'autre est occupée par le bureau des agents de la compagnie et par le dépôt des carottes extraites du trou de sonde.

Machine à forer.

La locomobile dont nous avons déjà parlé est de la force de 12 chevaux ; sa chaudière a une capacité de 1,850 litres et une surface de chauffe de 38 mètres carrés. Les appareils de forage installés à l'orifice du trou de sonde sont énumérés ci-après :

1° Deux pompes foulantes, fixées à la base et de chaque côté du bâti de la machine de forage, injectent constamment de l'eau dans le trou de sonde afin d'expulser les boues et les poussières.

Le courant d'eau descend à l'intérieur de la colonne de forage, et remonte dans le vide annulaire qui existe entre les tiges et la paroi du trou de sonde ; il arrive au sommet des tiges en traversant le robinet R (*fig.* 8, Pl. III), la pièce en bronze H qui est assemblée au tuyau de caoutchouc amenant l'eau des pompes, et une seconde pièce B, vissée à la tête de la colonne de forage, qui tourne à l'intérieur de la douille fixe H dans une sorte de presse-étoupes.

2° Les tiges de forage et les tubes de soutènement sont élevés ou descendus à l'aide d'un treuil à embrayage, muni d'un frein sur lequel s'enroule une forte chaîne en fer.

3° La pièce principale de l'appareil de forage porte le nom de *kuill;* elle transmet le mouvement de rotation aux tiges tout en leur permettant de descendre au fur et à mesure de l'approfondissement du trou de sonde. Ainsi que l'indique la *fig.* 9, Pl. III, elle tourne dans deux paliers dont l'un H est assemblé à la partie supérieure du bâti de la machine, et dont l'autre L, qui suit son mouvement ascendant ou descendant, est guidé par les montants parallèles du bâti.

Les tiges V sont fixées : 1° à la tête G de la kuill K au moyen de trois fortes vis C, D, E (*fig.* 11 et 20, Pl. III); 2° à la base de la kuill à l'aide de trois rondelles superposées M, N, P, dont la dernière présente une cannelure en spirale, qui permet de faire avancer ou reculer trois griffes dentelées serrant les tiges. Les trois griffes T se meuvent dans des vides ou coulisses que présente une quatrième rondelle S formant la base de la kuill (*fig.* 9, 20, 22, Pl. III).

Une roue d'angle placée à l'extrémité d'un arbre incliné engrène avec le pignon F, qui met la kuill en mouvement.

L'arbre creux A, sur lequel ce pignon est calé, tourne dans le palier fixe H, et présente à l'intérieur une clavette saillante qui glisse dans une rainure existant sur toute la hauteur du tuyau de la kuill. Grâce à cette disposition, le mouvement de rotation imprimé à la kuill n'empêche pas son mouvement dans le sens vertical.

4° Pendant les manœuvres et pendant le forage, le poids de la colonne des tiges ou des tubes de soutènement est équilibré par un contre-poids Q composé de plaques de fonte enfilées à l'extrémité d'une tige O. Ainsi que l'indiquent les *fig.* 2, Pl. I, et 13, Pl. III, cette tige est fixée au milieu d'une traverse L, à laquelle sont attelées deux chaînes à la Vaucanson, qui passent successivement sur trois groupes de roues à dents B, N, C, puis remontent

verticalement pour aller s'attacher à la tête des montants verticaux du bâti de la machine. Les roues inférieures (*fig.* 13, Pl. III) sont fixées par des boulons à chappes au palier mobile de la kuill.

Un frein spécial, agissant sur l'un des arbres des roues à dents, permet de régler à volonté l'action du contre-poids.

Lorsqu'on veut élever la kuill à la fin de chaque *battue*, on arrête la rotation, on suspend les tiges à la chaîne du treuil, on desserre les trois vis et les trois griffes de la kuill, et on ouvre le frein. Le contre-poids fait alors remonter la kuill jusqu'au sommet de sa course.

5° Pour modérer ou arrêter la colonne des tiges dans leur mouvement descendant, on emploie un parachute très-simple représenté *fig.* 10, 18, 19, Pl. III. Deux excentriques X, X embrassent les tiges V; ils sont maintenus entre deux plaques parallèles suspendues par les chaînes R. Aux points de contact avec les tiges, ces excentriques sont dentelés sur leur pourtour. Cet appareil empêche la chute des tiges dans le cas où il surviendrait une rupture du treuil, de la chaîne ou de quelque pièce de la machine; il permet librement l'ascension des tiges, mais il empêche tout brusque mouvement descendant. C'est surtout vers les pièces d'assemblage ou raccords que les excentriques agissent avec le plus d'efficacité.

Tiges creuses servant au forage.

Les tiges (*fig.* 26, Pl. III) qui portent l'instrument de perforation sont en acier de bonne qualité et ont 2 mètres de longueur. Elles sont réunies deux à deux à l'aide de raccords (*fig.* 27) filetés (à droite) aux deux extrémités.

On emploie des tiges spéciales d'un plus faible diamètre (*fig.* 28, Pl. III), lorsque, à la suite d'accidents, on veut dévisser des tiges de forage ou des tubes de soutènement tombés au fond du trou de sonde. Ces tiges sont filetées à

gauche, c'est-à-dire en sens contraire des tiges de forage et des tubes. Les bagues (*fig.* 29) qui les assemblent deux à deux sont filetées à l'intérieur.

Couronnes à diamants et divers systèmes de tubes-carottiers.

PREMIER SYSTÈME.

Le forage a lieu en imprimant aux tiges un rapide mouvement de rotation. L'outil perforateur, représenté *fig.* 30, 31, 32 et 31', Pl. III, est formé d'une couronne en acier garnie de diamants noirs à sa partie inférieure; la saillie intérieure ou *lèvre* a pour but de retenir les carottes pendant leur ascension. Quatre rainures *a*, *b*, *c*, *d* sont pratiquées à la base de la couronne pour donner un passage au courant d'eau qui descend à l'intérieur des tiges et remonte le long des parois du trou de sonde. Le nombre des diamants que l'on incruste dans la couronne dépend de leur grosseur et en même temps de la nature des terrains que l'on traverse. Dans les roches de dureté moyenne, on place de 15 à 20 diamants pesant en totalité 30 à 40 carats (le prix du carat est de 40 francs environ).

La couronne est vissée à l'extrémité d'un tube qui porte le nom de *carottier*, et qui présente une longueur variant de 4 à 8 mètres suivant la nature des roches. Ce tube (*fig.* 34, Pl. II) reçoit les carottes à mesure qu'elles se forment; il a un diamètre un peu plus grand que celui des tiges. Cet appareil, fort simple, fonctionne très-bien comme perforateur, mais il a l'inconvénient de n'amener au jour que les carottes qui, en petit nombre, se placent et restent dans la position indiquée par la *fig.* 35. Pour tâcher d'incliner la carotte et de l'appuyer sur la lèvre de la couronne, on opère de la manière suivante.

Lorsque la *perforation* est terminée (*fig.* 36), on soulève la couronne de 60 à 80 millimètres, c'est-à-dire de A en B,

et l'on imprime un vif mouvement de rotation qui détermine la cassure *ab* ; on redescend la couronne et on donne de nouveau un mouvement rapide aux tiges. Mais cet artifice ne produit pas toujours l'effet attendu. De plus, si la roche n'est pas dure et homogène, une cassure *cd* (*fig.* 35) peut amener la chute de la carotte ; de même si la roche est tendre, la partie qui repose sur la lèvre de la couronne se brise et rien n'empêche le glissement en dehors. Enfin, le courant d'eau détruit les parties friables. En résumé, cet appareil de perforation n'a permis d'extraire que 0,399 p. 100 des carottes produites.

DEUXIÈME SYSTÈME.

Afin d'obtenir des indications géologiques plus nombreuses, on a ajouté (le 16 mars 1876), à l'intérieur de la couronne, un anneau fendu, à ressort, qui a pour but de retenir les carottes pendant leur ascension. Ainsi que le montre la *fig.* 47, Pl. II, le vide intérieur est de forme tronconique et la lèvre n'a qu'une saillie égale à l'épaisseur de l'anneau placé au-dessus.

Cet anneau en acier (*fig.* 48, 49) a la forme d'un tronc de cône et présente quatre nervures intérieures *m*, *n*, *o*, *p*, qui s'appliquent contre la carotte. Chaque nervure est garnie de deux petits diamants placés aux points *a*, *b*, *c*, *d* (*fig.* 48).

L'anneau occupe la positition R lorsque la couronne commence à travailler, et il monte ensuite jusqu'en S poussé par la carotte. Lorsqu'on élève la couronne, l'anneau est entraîné vers la partie étroite du cône par le frottement de la carotte qui se trouve alors maintenue par les quatre nervures.

Cette disposition a permis d'améliorer les résultats obtenus, puisque la proportion des carottes extraites s'est élevée à 0,531 p. 100.

Néanmoins beaucoup de témoins étaient encore perdus

et, de plus, le courant d'eau continuait à désagréger et à entraîner les roches friables, notamment les schistes et les houilles tendres.

TROISIÈME SYSTÈME.

L'entrepreneur a appliqué, à partir du 12 octobre 1876, un nouvel appareil (*fig.* 50 et 51, Pl. II) qui a donné d'excellents résultats.

Le manchon ou tuyau C s'assemble d'un côté avec l'extrémité inférieure des tiges. et de l'autre côté avec le tuyau terminé par la couronne à diamants; il porte à sa base une pièce D, dite raccord, qui est filetée extérieurement et qui présente quatre trous pour le passage des eaux et un trou central terminé par une pointe conique. L'axe E, qui pénètre dans ce dernier trou, est attaché au raccord par deux goupilles cylindriques et horizontales *b'*, *b*, mais peut tourner librement grâce à la cannelure circulaire dans laquelle passent les goupilles, ou rester fixe lorsque les tiges de forage reçoivent un mouvement de rotation.

Ce même axe ou pivot E traverse à sa partie inférieure, qui est filetée, un écrou F nécessaire pour assurer le libre passage de l'eau, et une seconde pièce de raccord H formant la tête du tube carottier proprement dit.

Le raccord H est percé dans le haut de troit petits trous et présente à l'intérieur un petit cylindre en cuivre L, dont l'ouverture inférieure est ordinairement fermée par une soupape M sur laquelle presse un ressort à boudin R.

Vers la fin de la perforation, l'eau et l'air qui peuvent se trouver emprisonnés dans le carottier ouvrent cette soupape et s'échappent par les trois trous dont nous venons de parler.

Pendant le forage, le ressort à boudin appuie sur la soupape, et le courant d'eau descendant ne peut pas pénétrer à l'intérieur du tube carottier, et, par suite, ne peut pas désagréger et entraîner les roches tendres ou friables.

A la base du tube carottier existent, à l'intérieur, trois quets qui sont munis chacun d'un petit diamant et qui glissent sur des surfaces inclinées. Un vide de 4 à 6 millimètres est laissé entre la couronne et le bord inférieur du tube carottier, afin que ce dernier puisse rester immobile pendant la perforation, ce qui assure la conservation des carottes.

La couronne CC est à gradins, c'est-à-dire présente une double rangée de diamants. Quatre trous sont percés audessus de la couronne pour faciliter la ciculation de l'eau.

Le fonctionnement de cet appareil ingénieux est des plus satisfaisants. Il permet d'extraire la presque totalité des carottes, ce qui est avantageux non-seulement au point de vue de l'étude géologique des terrains traversés, mais encore au point de vue de la rapidité du forage. Lorsque les carottes tombent ou restent au fond du trou de sonde, il faut les broyer avec la couronne à diamants, ce qui entraîne une perte de temps et la production de gros sables qui, comme nous le verrons, peuvent, dans certains cas, provoquer des accidents.

Tableau donnant le forage exécuté et la proportion de carottes obtenues dans l'avancement pour chacune des couronnes ci-dessus.

COURONNES.	FORAGE.	PROFONDEUR totale.	CAROTTES. Longueurs extraites.	CAROTTES. Total.	CAROTTES. Proportion p. 100.	OBSERVATIONS.
						Couronnes employées.
Puits d'installation.	10,300	10,300	»	»	»	»
1re couronne	279.186	289,486	111.480	111,480	0,399	28 nov. 1875 au 16 mars.
2e —	223.996	513,482	119,110	230,590	0,531	16 mars 1876 au 12 octobre.
3e —	227,252	740,734	220,725	451,315	0,971	12 oct. 1876 au 5 janv. 1877.
Total. . . .	740,734	»	451,315	»	0,619	Proportion moyenne.

Devis approximatif de chacune des trois couronnes.

COURONNES.	COURONNE brute.	AJUSTAGE placement des diamants et trempe.	DIAMANTS.			TOTAL.
			Nombre.	Poids.	Prix du carat.	
	francs.	francs.		carats.	francs.	francs.
1re couronne. .	6	6	17	42	40	1.692
2e — . .	6	12	17	42	40	1.698
3e — . .	7	13	20	50	40	2.020

Le nombre de diamants à incruster dans les couronnes dépend de la dureté des terrains que l'on a à forer et du diamètre du trou de sonde; la quantité incrustée dans les trois couronnes ci-dessus suffit pour des couronnes de 4 pouces travaillant dans une roche de dureté moyenne.

Tableau donnant la profondeur totale du trou, le nombre d'ouvriers [illegible] de 12 heures, l'avancement par heure de travail proprement dit, de travail total, etc., à la fin de chaque mois.

Mois.	Longueur forée avec l'appareil.	Profondeur totale du trou.	Diamètre du trou.	Nombre d'hommes par poste.	NOMBRE DES POSTES DE 12 HEURES employés: au sondage proprement dit.	Mise en place, enlèvement des tubes	Accidents et éboulements.	Nettoyage, réparations.	Confection d'outils.	Nombre total de postes de travail.	Nombre de postes de chômage.	AVANCEMENT: par heure de travail propremt dit.	par heure de travail total.	PRIX DE LA MAIN-D'ŒUVRE par mois: au sondage.	élargissement du trou et tubage.	éboulements et divers.	aux accidents.	travaux extérieurs, réparations.	Total.
1875		10,300												francs.	francs.	francs.	fr.	francs.	francs.
Nov .	9.70	20,000	0,225 0,250	8	1,00	0,50	»	1,75	»	3,25	2,75	0,8083	0,2487	25,00	15	»	»	110,00	150
Déc .	139,281	159,281	0,150 0,200 0,175 0,077	7	15,00	25,00	3,00	18,00	»	61,00	1,00	0,7737	0,1902	378,00	815	76,00	»	1.271,00	2 540
1876 Janv.	93,544	252.825	0,127	7 à 8	32,00	»	2,16	15,33	12,50	62,00	»	0,2435	0,1257	806,00	»	53,00	»	1,701,00	2.560
Févr.	33,965	286,790	0,127 0,077	7 à 8	15,00	8,25	21.75	9,82	3,18	58,00	»	0,1886	0,0487	378,00	204	332,80	282	1 173,20	2.390
Mars.	90,926	377,716	0,077	7 à 8	30,08	2,58	16,83	12,50	»	62,00	»	0,2518	0,1221	758,00	372	8,00	872	1.870.0.	2 580
Avril.	73,839	451,555	0,077	7 à 8	21,83	»	25,83	12,33	»	60,00	»	0,2818	0,1025	550,10	»	50.40	858	1.021,50	2.480
Mai. .	»	»	»	7 à 8	»	»	40,00	11,00	»	60,00	»	»	»	»	»	»	1.764	436,00	2.200
Juin .	»	»	»	7 à 8	»	»	49,58	8,66	1,75	60,00	»	»	»	»	»	»	1.785	615,00	2.400
Juill .	39,060	490,615	0,077	7 à 15	12,41	»	14.91	8,33	7,00	43.16	18,83	0.2621	0,0754	312,70	»	100,00	402	1.125,30	1 940
Août.	»	»	»	7 à 15	»	»	31,16	1,33	5,00	37,50	24,50	»	»	»	»	»	1.122	578,00	1.700
Sept .	»	»	»	7 à 15	»	»	19,66	13,66	»	33,33	26,66	»	»	»	»	12,60	690	797.40	1.500
Oct. .	98.014	588,629	0,077	7 à 8	49,58	2.50	2,33	7,58	»	62,00	»	0.1647	0,1317	1.249 40	125	55,00	»	1.170,60	2.600
Nov .	42,899	631,528	0,077	7 à 15	21,25	»	0,50	19,58	0,83	42.16	17,83	0 1721	0,0847	535,50	»	12,60	»	1.301,90	1.850
Déc. .	103,994	735,522	0,077	7 à 8	46,33	»	4,16	11,50	»	62,00	»	0,1870	0,1397	1.167,50	»	100,50	»	1 332,00	2.600
1877 Janv.	5,212	740,734	0,077	7 à 15	4,50	10,50	6,17	2,83	»	24,00	16,00	0,0965	0,0180	113.00	525	151,00	»	211.00	1.000
Total	730,334	»	»	»	249,00	49,33	247,04	154,70	30,00	730,40	109,57	0,2444	0,0821	6.273,20	2.056	971,90	7.475	13,713,00	30.430

Ce tableau comprend toute la durée du travail, depuis le commencement du forage (28 novembre 1875) jusqu'à la fin du détubage (20 janvier 1877).

Observations relatives au tableau précédent. Nature des terrains.

		mètres.	mèt.
TERRAIN TERTIAIRE. —	Terre végétale	0.50	
	Sable	7,26	
	Argile (plusieurs bancs)	11,51	
	Grès tendre sableux	0,90	
	Grès moyennement dur	17,55	37,72
TERRAIN TRIASIQUE. —	Argile (plusieurs bancs)	13,35	
	Grès tendre sableux	6,23	
	Grès moyennement dur	2,70	22,28
TERRAIN HOUILLER. —	Argile schisteuse verdâtre	2,00	
	Schiste tendre (plusieurs bancs)	78,00	
	Schistes charbonneux (plusieurs bancs)	3,90	
	Schistes peu durs, par petits bancs dans lesquels sont intercalés des petits bancs de grès	41,36	
	Grès peu durs, par petits bancs dans lesquels sont intercalés des petits bancs de schistes (petites alternances)	46,56	
	Grès schisteux tendre	42,54	
	Grès schisteux mi-durs	69,68	
	Grès tendre compacte, mal cimenté	20,00	
	Grès compacte mi-dur	245,04	
	Grès compacte dur, parsemé de petits galets de quartz	44,31	
	Grès et conglomérats à cailloux de quartz	84,91	678,30
TERRAIN PRIMITIF. —	Roche porphyroïde verdâtre, sensiblement couleur rose avec taches verdâtres		2,43
	Total		740,73

Tableau indiquant par chaque mois l'avancement du forage, la longueur des carottes extraites et le temps employé à chacune des manœuvres et travaux divers.

MOIS.	FORAGE.				PROFONDEUR totale du sondage.	CAROTTES		HEURES EMPLOYÉES aux travaux divers						TOTAL D'HEURES.		OBSERVATIONS.
	Heures employées au forage.	Nombre de descentes.	Avancement.	Nombre de montées.		extraites.	Longueur.	Élargissement, alaisage du trou.	Tubage et détubage	Éboulements et divers.	Accidents.	Travaux extérieurs, réparations, nettoyage.	Réparation du matériel fixe.	Travail.	Chômage.	
1875.					mèt. 10,300	mèt.	mèt.									
Novembre .	12	3	9.700	3	20,000	4,15	4,15	3	3	»	»	4	17	39	33	Le nombre d'ouvriers occupés par heure était de 7 à 8, dont 4 au forage et manœuvres, et les 3 ou 4 autres à l'ajustage et travaux divers. Ce tableau ne comprend que le temps passé au forage, au tubage, élargissement, réparations et accidents survenus en forant.
Décembre .	180	29	139.281	29	159,281	35,15	39,30	208	92	36	»	160	56	732	12	
1876.																
Janvier. . .	384	75	93.514	75	252.825	63,52	102,82	»	»	26	»	284	50	744	»	
Février. . .	180	42	33.965	42	286.790	8,06	110,82	100	»	167	94	115	40	696	»	
Mars	361	32	90.926	32	377.716	35,77	146,65	31	74	4	124	146	4	744	»	
Avril	262	20	73.839	20	451,555	41,73	188,380	»	»	24	286	65	83	720	»	
Mai.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	588	112	30	730	24	
Juin	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	595	108	17	720	»	
Juillet . . .	149	17	39.060	17	490,615	21,28	209.66	»	»	45	134	97	93	518	226	
Août	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	374	76	»	450	294	
Septembre.	»	»	»	»	»	3,53	213,19	»	»	6	230	146	18	400	320	
Octobre . .	595	37	98.014	37	588.629	97,68	310,87	»	30	28	»	76	15	744	»	
Novembre .	255	17	42.899	16	631,528	34.155	345,025	»	»	6	»	161	84	506	214	
Décembre .	556	29	103.994	29	735,522	101,415	446,440	»	»	50	»	52	86	744	»	
1877.																
Janvier. . .	54	5	5.212	5	740,734	4,875	451,315	»	126	74	»	22	12	288	192	
Total. .	2 988	305	730 334	305	740,734	151,315		342	325	466	2.425	1.624	605	8.775	1.315	

Ce tableau comprend le travail du forage depuis le commencement (28 novembre 1875) jusqu'à la fin y compris le détubage (20 janvier 1877).

Tube à sable.

Lorsque le forage a lieu dans des grès à gros grains, mal cimentés, des accidents pourraient se produire si les pompes s'arrêtaient ou fonctionnaient avec une vitesse trop faible. En effet, les gros sables en suspension se précipiteraient au fond du trou et pourraient engager fortement l'outil de perforation avant qu'on ait eu le temps de l'élever. Pour prévenir ce genre d'accidents, on emploie un tube, vissé sur le raccord surmontant le carottier (*fig.* 44, Pl. II) qui reçoit les sables, dans le vide annulaire AB, dès que le courant d'eau ascendant s'arrête ou que sa vitesse diminue.

Le tube à sable rend, sous ce rapport, des services très-utiles, mais il est prudent de ne pas l'employer d'une manière continue, parce qu'il peut arriver que, pendant le mouvement ascensionnel, son rebord supérieur butte contre les parois et même s'accroche.

Tubes de soutènement. — Tubages.

Pour le soutènement des parois du trou de sonde, on a employé des tuyaux en fer, dits à recouvrement, fabriqués par la société Mignon-Rouart et Delinières dans ses usines de Montluçon.

Chaque tube présente intérieurement, à ses extrémités, des pas de vis indiqués dans la *fig.* 25, Pl. III. Des manchons *ab*, filetés extérieurement, assemblent les tubes deux à deux ; ils sont, en outre, fixés d'un côté, au moyen de trois rivets. Les tubes ainsi construits ont l'avantage d'occuper moins de place que les tuyaux simplement rivés, et, en même temps, d'offrir plus de solidité.

On n'aurait pas pu employer des emmanchages à vis de forme ordinaire, parce qu'il aurait fallu augmenter l'épaisseur des tubes et, par suite, le poids des colonnes. Les

manœuvres seraient devenues plus difficiles, plus exposées aux accidents, et, en même temps, la dépense eût été plus élevée. En outre, il eût été nécessaire de donner un plus grand diamètre au trou de sonde.

La longueur des tubes varie de $0^m,80$ à 6 mètres.

Les dimensions des divers tubages qui ont été employés au sondage sont indiquées dans le tableau suivant :

COLONNES.	DIAMÈTRE		MANCHONS. Diamètre		POIDS du mètre.	PRIX du kilogr.
	exté-rieur.	inté-rieur.	inté-rieur.	exté-rieur.		
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	kilog.	fr.
Tubes en fonte.	0,300	0,250	»	»	»	»
Tubes en fer de 9 pouces. . .	0,229	0,216	0,209	0,219	38,17	1,50
— — . . .	0,203	0,190	0,181	0,191	31,32	1,50
— — . . .	0,178	0,165	0,159	0,168	25,62	1,50
— — . . .	0,152	0,139	0,133	0,143	21,65	1,50
— — . . .	0,127	0 115	0,108	0,118	19,00	1,50
— — . . .	0,102	0,089	0,082	0,092	19,21	1,60

Dès que le forage a été commencé, il a été nécessaire de soutenir les argiles sableuses et aquifères et même le béton du fond du petit puits. On a employé à cet effet des tubes de 9 pouces.

Au début, pour opérer le forage et le tubage en même temps dans ces terrains ébouleux, on a remplacé le tube carottier par un tronçon de tuyau de soutènement qui présentait à sa base une couronne garnie de quelques diamants de faible valeur.

Chaque colonne de tubes est suspendue à sa partie supérieure par de fortes brides en fer s'appuyant sur les colonnes antérieurement placées (*fig.* 41, Pl. II), et principalement sur les tuyaux de fonte.

La descente des tubes se fait de la même manière que celle des tiges de forage, en se servant du treuil de la machine.

Quand la base de la colonne est arrêtée par des éboulements, on ôte le raccord R (*fig.* 42, Pl. II) et on le remplace

par la bride DF (*fig.* 43), qu'une chaîne à deux branches, attachée à la chaîne du treuil, saisit à ses extrémités. On descend ensuite les tiges de forage jusqu'aux éboulements et on les suspend au moyen d'une bride assise sur la colonne de soutènement, de telle sorte que les tiges et le tubage puissent se mouvoir ensemble. On fait alors fonctionner les pompes à grande vitesse, et à mesure que le courant ascendant entraîne les éboulements, on laisse descendre le tubage.

A la fin du sondage, le tubage de soutènement se composait (*fig.* 23, Pl. III) :

1° D'une colonne mixte ABCD, formée de tubes de 4, 5 et 6 pouces et de deux raccords, présentant une longueur totale de.	mètres. 490,206
2° De tubes *mnop* de 5 pouces.	35,589
3° De tubes LMNP de 8 pouces se trouvant isolés à la suite d'une rupture.	47,729
4° De tubes SV de 9 pouces.	6,310
5° De tubes de 7 pouces.	79.931
Longueur totale des tubes. . .	659,765

Enlèvement du tubage.

Lorsqu'il s'est agi d'enlever les colonnes de soutènement, on s'est occupé d'abord d'extraire la colonne mixte dont le poids était de 8.540 kilog. On l'a saisie, vers le milieu de sa hauteur, au moyen d'un outil spécial (*fig.* 45 et 46, Pl. II), composé de trois taquets R, S, T, glissant dans des rainures inclinées. Lorsque cet instrument descend, les taquets se soulèvent à la rencontre de chaque manchon, et s'abaissent ensuite de manière à faire saillie.

La colonne s'est rompue et on n'a pu arracher que les tubes de 5 pouces et de 6 pouces.

Pour extraire les tubes de 4 pouces, on a descendu un taraud fileté à droite et fixé à l'extrémité des tiges de forage. La *fig.* 38, Pl. II, indique la disposition du taraud et

les précautions prises pour le guider. Six opérations successives ont permis d'arracher 117^m,44. Un tronçon de tubes de 4 pouces est resté dans le trou de sonde.

Les tubes de 7 pouces ont été ensuite enlevés, mais après plusieurs essais infructueux, on a cru devoir abandonner dans le trou de sonde les tubes de 8 pouces et de 9 pouces.

Les tubes retirés sont indiqués ci-après :

Tubes de 6 pouces	....	67^m,662
— 5 —	....	171^m,758
— 4 —	....	122^m,729
— 7 —	....	79^m,931
Total	....	442^m,080

Résumé.

Le sondage à l'aide de la couronne à diamants a l'avantage de fournir des renseignements géologiques très-complets, puisque avec le dernier appareil de perforation qui a été employé on extrait la presque totalité des carottes.

Dans les roches homogènes dures et moyennement dures, la couronne à diamants donne de très-bons résultats.

L'outil perforateur ne travaille pas dans de bonnes conditions lorsqu'il s'agit de traverser les poudingues à petits noyaux, parce que les galets usent rapidement la surface inférieure, et détachent ainsi les diamants. Il en résulte une double perte, car les diamants qui s'échappent, au lieu d'entamer le rocher, usent la couronne. Néanmoins, dans le sondage de Neuville, on a coupé, sans grandes difficultés, des grès compactes et des poudingues à galets de quartz, sur une hauteur totale de plus de 100 mètres. Il n'y a donc pas là, comme on l'a cru, un obstacle insurmontable à l'application du nouveau système de perforation verticale.

Le forage aux diamants est généralement rapide ; il suffit, pour s'en convaincre, d'examiner le tableau qu donne les avancements moyens par heure.

LÉGENDE DES PLANCHES.

Planche I.

INSTALLATIONS EXTÉRIEURES.

Fig. 1. — Projection horizontale du bâti de la machine à forer et du puits supérieur.

Fig. 3. — Coupe verticale, suivant la ligne *aa* de la *fig.* 1, du puits d'installation et des tuyaux de fonte formant la tête du sondage et projection verticale du bâti de la machine à forer.

Fig. 2. — Coupe verticale, perpendiculaire à la précédente, du puits d'installation, des tuyaux de fonte et de la première partie des tubes en fer, et projection verticale de la machine à forer et du contrepoids d'équilibre *q*, suspendu à la tige *o*.

Fig. 6. — Projection horizontale de la tour, des bâtiments D', G et M, groupés à la base de la tour, du bassin de décantation et du puits d'alimentation.

Fig. 4. — Coupe verticale et longitudinale du bassin d'épuration.

Fig. 5. — Coupe transversale de l'aile G suivant la ligne *ff* de la *fig.* 6.
La coupe de l'aile D' est entièrement semblable.

Fig. 7. — Coupes verticales et projections : 1° de la tour suivant la ligne *dd* de la *fig.* 6, et des ailes D' et G, suivant la ligne *gg* de la même figure.

Les fig. 8', 9', 10', 11', 12' et 13' représentent les planchers n°s 1, 2, 3, 4, 5 et 6, établis à diverses hauteurs dans la tour.

La fig. 14' montre, en projection horizontale, la charpente au niveau KL.

Planche II.

Fig. 34. — Tube-carottier employé en premier lieu, représenté en élévation et en coupe.

Fig. 35. — Position que la carotte doit occuper pour qu'on puisse l'amener au jour.

Fig. 36. — Carotte au moment où on va la détacher. On s'efforce ensuite de lui donner une position inclinée pour pouvoir la maintenir dans le tube-carottier.

Fig. 47. — Coupe verticale du second type de couronne à diamants. L'anneau intérieur qui se meut dans le vide tronconique est représenté *fig.* 48, vu en dessus, et *fig.* 49, vu en dessous.

Fig. 44. — Tube présentant à sa partie supérieure un godet annulaire AB dans lequel on recueille les gros sables qui tendent à se précipiter au fond du trou de sonde.

Fig. 50. — Coupe verticale du troisième type de tube-carottier.

Ce même appareil est représenté *fig.* 51 à une petite échelle.

Pour bien faire comprendre la construction de ce nouveau système de tube carottier, on a ajouté les coupes transversales, *fig.* 52, 53, 54, 55, 56, suivant les lignes *aa*, *dd*, *ef*, *gh*, *ij*, de la *fig.* 50.

Fig. 45, 46. — Appareil à taquets servant à l'extraction des tubes de soutènement.

Fig. 39. — Pièce de raccord.

Fig. 40. — Cloche à vis servant à saisir les tiges restées au fond du trou par suite d'accident.

Fig. 37. — Assemblage de trois couronnes à diamants employé, lors d'un accident, pour reconnaître la situation du trou de sonde.

Fig. 38. — Taraud (emmanché à des tubes servant de guides), qui a été employé pour extraire des tubes de soutènement.

Fig. 41. — Mode de suspension des tubes de soutènement à l'aide de fortes brides.

Fig. 42. — Descente d'une colonne de tubage.

Fig. 43. — Descente de tuyaux de soutènement, lorsqu'on est arrêté par des éboulements.

Planche III.

Fig. 8. — Assemblage du tuyau de refoulement des pompes avec le sommet des tiges de forage.

Fig. 9. — Élévation de l'appareil appelé *kuill.*

Fig. 20, 21. — Coupe longitudinale et transversale, à une plus petite échelle, du même appareil.

Les fig. 11, 12, 14, 15, 16, 17, 22 donnent les détails de la kuill.

La fig. 14 montre la rondelle N en plan et en coupe.

La fig. 15 représente la rondelle M.

La fig. 16 est une projection de la base S. Cette même pièce est vue en plan et en coupe dans la *fig.* 12.

La fig. 17 fait connaître la construction de la rondelle P, et la *fig.* 22 la forme des griffes T.

La tête de la kuill est représentée en plan *fig.* 11.

Fig. 10. — Projection verticale du parachute.

Fig. 18. — Projection horizontale du même appareil.

Fig. 19. — Élévation de l'un des excentriques X du parachute.

Fig. 13. — Chaîne à la Vaucanson, enroulée sur les poulies N, B, C, attachée d'un côté à la kuill, et de l'autre au contre-poids.

Fig. 25. — Tubes de soutènement assemblés avec des manchons à vis placés intérieurement.

Fig. 26. — Tiges creuses portant la couronne à diamants. Elles sont reliées deux à deux à l'aide des raccords *fig.* 27.

Fig. 28. — Tiges creuses spéciales employées à la suite d'accidents. Les raccords sont représentés *fig.* 29.

Fig. 30 et 31. — Projections verticale et horizontale de la couronne à diamants qui a été appliquée au début du sondage.

La fig. 31 est une coupe verticale, et la *fig.* 32 une vue en dessous de cette couronne.

Fig. 33. — Taraud ordinaire pour l'extraction des tiges ou tubes.

Fig. 23 et 24. — Aspect du trou de sonde, lorsqu'il était soutenu par des tubes de 4 à 9 pouces, et lorsque la plus grande partie du tubage a été enlevée.

LES ACCIDENTS DE LA DYNAMITE

Par M. L. ROUX, ingénieur en chef des poudres,
Directeur de la Société générale pour la fabrication de la dynamite.

Depuis que la loi du 8 mars 1875 a placé l'industrie de la dynamite sous le régime de la liberté, il n'est arrivé aucun accident provenant du fait du transport ou de la conservation. Cependant le transport de cette matière s'est effectué dans les conditions les plus défavorables. La Société générale pour la fabrication de la dynamite, qui a alimenté presque seule, depuis cette époque, les chantiers de mines et de travaux publics, a dû expédier ses produits dans toute la France au moyen du roulage. Les convois partis de son usine de Paulille, dans les Pyrénées-Orientales, ont mis le plus souvent un mois, souvent six semaines, pour arriver à destination. Un millier de tonnes de dynamite ont été ainsi expédiées dans toutes les directions, par tous les temps, aussi bien pendant les plus fortes chaleurs de l'été que dans la saison des pluies et par les froids les plus rigoureux. Pendant les trois années qu'a duré cette rude épreuve, aucune observation n'a été faite qui ait diminué la confiance que l'on peut avoir dans une dynamite préparée et emballée avec soin, tant sous le rapport de la stabilité de la matière que sous le rapport de la résistance qu'elle présente contre les influences extérieures, telles que les chocs, les vibrations, les variations de température, etc. (*).

(*) Les voitures de la Société générale ont fait 17 fois le trajet de Paulilles (près Port-Vendres) à Charleville, dans les Ardennes, et à Denain, dans le Nord ; elles sont allées 16 fois à Angers, 9 fois à Saint-Lô, dans la Manche, et 10 fois dans le département de l'Allier.

Nous devons ajouter que nous n'avons eu également aucune connaissance d'accidents arrivés à l'étranger pouvant provenir du fait du transport ou de la conservation.

Mais ce qui peut augmenter encore la confiance que doivent inspirer des matières bien fabriquées, c'est cette observation qu'il a été fait en France, pendant plusieurs années, une consommation considérable de matières de contrebande préparées sans contrôle et sans soin ; que ces matières ont été presque exclusivement transportées par les chemins de fer, et que néanmoins il n'est arrivé aucun accident.

Ainsi, dans la période de temps qui s'est écoulée de 1871 à 1876, période pendant laquelle l'État seul devait, en vertu de son monopole, pourvoir aux besoins de l'industrie, il s'était établi, dans les environs de Lyon, des fabriques clandestines qui ont, bien mieux que l'État, alimenté le midi de la France. L'un de ces fabricants avait étendu ses relations jusque dans les Pyrénées, et a fourni même de la dynamite en Espagne, aux armées carlistes. Un autre, dont les produits devaient amener un jour la catastrophe du Larmont, fournissait habituellement les entrepreneurs du Dauphiné et de la Provence. Des travaux considérables, tels que le tunnel de Notre-Dame-de-la-Garde, d'une longueur de 2.500 mètres. ont été entièrement effectués avec l'espèce de dynamite dite mataziette. Nous tenons de la bouche même de l'ingénieur qui représentait à Marseille les entrepreneurs Brassey et C[ie], de Londres, que cette mataziette lui est arrivée très-régulièrement par le chemin de fer pendant tout le cours de ses travaux.

Nous avons tout lieu de croire que les 4.000 kilog. qui avaient été saisis à Pontarlier, et ont fait explosion au Larmont, étaient les mêmes qui venaient d'être vendus à un autre entrepreneur des environs de Marseille.

Si des matières préparées dans d'aussi déplorables conditions ont pu circuler pendant plusieurs années, soit sur

les routes, soit sur les chemins de fer, sans amener d'accidents de transport et de conservation, on peut certainement affirmer que ces matières, soumises à un contrôle sérieux, présentent toute la sécurité désirable.

Si la sécurité que donne la dynamite à ce point de vue est aussi complète que possible, il ne paraît pas en être entièrement de même à l'égard de l'emploi.

Quelques accidents arrivés dans ces derniers temps ont inquiété assez vivement le public; cependant, en étudiant la question, on arrive à cette opinion que presque, tous ces accidents proviennent de l'ignorance, et que, par suite, ils deviendront extrêmement rares quand cette matière, encore nouvelle, sera mieux connue.

Avant d'en venir aux accidents provenant directement de l'emploi, nous dirons quelques mots de ceux qui peuvent être la conséquence de la nature des gaz. Des avis très-opposés ont été émis à l'origine, pour la dynamite; mais, nous croyons qu'aujourd'hui la question est tranchée et qu'aucune discussion n'est possible. Si des ouvriers se plaignent encore des malaises occasionnés par les gaz de la dynamite, c'est que des cartouches ont mal détoné, ont brûlé au moins en partie, et ont rempli les galeries de gaz nitreux. Nous ne connaissons pas cependant d'accidents qui aient eu, par cette cause, des suites graves. Avec la poudre, au contraire, il y a eu des ouvriers asphyxiés, même en plein air; et cela n'a rien d'étonnant quand on sait la proportion énorme d'oxyde de carbone que dégage la poudre de mine. Mais si nous avons tenu à faire cette observation, c'est pour attirer l'attention sur ce point, que le contrôle de la dynamite doit encore s'appliquer à ce point de vue, que la matière mise en circulation soit susceptible de donner une détonation franche et complète avec les capsules dont dispose l'industrie.

Les accidents produits par l'absorption de gaz méphitiques ne sont en général pas immédiats, et par suite

frappent peu le public; ils n'en sont pas moins pernicieux pour les ouvriers.

On peut être convaincu, par exemple, que la mauvaise qualité de la matière dont on a fait usage dans le tunnel de Notre-Dame-de-la-Garde, dont nous parlions tout à l'heure, n'a pas été sans influence sur l'état sanitaire des ouvriers employés dans ce travail. Nous voyons dans un compte-rendu que 722 ouvriers ont été malades et que 5 sont morts pour avoir respiré des gaz méphitiques. Il est vrai que personne ne connaissant à cette époque la matière dont on se servait, on a attribué ces gaz au voisinage des fabriques, savonneries, qui existaient dans la localité. Sans contester cette assertion, il est beaucoup plus probable que ces gaz étaient dus à la mauvaise qualité de la matière explosive.

Si l'on ajoute à ces considérations les dangers imminents qui sont toujours la conséquence d'un raté, on sera convaicu qu'il est d'une grande importance d'assurer les ouvriers contre les inconvénients résultant d'une préparation trop difficilement explosible.

Ce serait sans doute se bercer d'un espoir chimérique que de prétendre avoir un jour un explosif qui n'occasionnât jamais d'accidents au moment de l'emploi. Que ce soit par suite d'imprudence ou de négligence, que ce soit par le concours de circonstances qui défient quelquefois toute vigilance, une garantie absolue est impossible. Un ouvrier, enfonçant un baril de poudre de mine, enflamme, en resserrant les cercles de ce baril, une parcelle de phosphore, provenant sans doute d'une allumette chimique demeurée contre les parois des douves. Par un hasard heureux, il n'y eut pas d'explosion; mais si elle avait eu lieu, à quelle cause l'aurait-on attribuée? Ainsi, tout ce qu'on peut demander à un nouvel explosif, c'est que son usage n'entraine pas plus d'inconvénients que ceux qui l'ont précédé et, puisqu'il est admis qu'avec l'ancienne poudre noire une

certaine proportion d'accidents est inévitable, que cette matière n'augmente pas cette proportion.

Nous croyons qu'il est facile de le démontrer pour la dynamite. Il n'est pas rare cependant de voir émettre cette opinion, que les nouvelles matières explosibles sont beaucoup plus dangereuses que les anciennes. Cela tient non-seulement à la confusion qui s'établit entre des matières qui sont, à ce point de vue, entièrement dissemblables, comme la nitroglycérine liquide et la dynamite, mais encore à l'importance toute particulière que prennent les explosions produites par des substances nouvelles ou peu connues. Une explosion de dynamite ou de coton-poudre agit bien autrement sur l'imagination qu'une explosion de poudre. A l'époque où eut lieu la catastrophe du Larmont, une explosion de poudre de guerre entraîna au Mont Valérien la mort d'un même nombre de victimes. On sait cependant quel retentissement a eu l'explosion du Larmont; c'est à peine s'il a été question de celle du Mont-Valérien.

Il n'y a en effet plus rien à apprendre avec l'ancienne poudre, et l'on peut affirmer que la proportion d'accidents qui se produit aujourd'hui ne se modifiera pas avec le temps. Avec un nouvel explosif, au contraire, la question est de savoir si l'accident dont on vient d'être témoin se renouvellera d'une manière inquiétante, ou si, n'étant que le résultat de l'ignorance, il ne se reproduira plus dès qu'on connaîtra mieux les propriétés de ce nouvel explosif.

Il n'y a donc qn'une statistique comparée des accidents produits par la poudre et par la dynamite, et un examen attentif des causes qui ont amené les derniers, qui permettra de se prononcer sur cette question de savoir si l'usage de la nouvelle substance doit être considéré comme relativement dangereux.

Les éléments manquent en général pour faire cette étude. Nous ne les avons trouvés d'une manière complète

jusqu'ici que pour l'Angleterre, dans les rapports des inspecteurs des matières explosives (*).

Dans ces rapports, qui ont paru à l'heure présente pour les années 1876 et 1877, on trouve les renseignements suivants :

Les accidents, explosions, ayant occasionné morts ou blessures ont été :

Pendant l'année 1876 :

Pour la poudre, au nombre de. . . . . :	32
Pour la dynamite	3
Pour les autres explosifs (coton-poudre, fulminates, mèches, etc.).	20

Pendant l'année 1877 :

Pour la poudre.	37
Pour la dynamite	11
Les autres explosifs.	18

En examinant les causes, on voit que l'un des accidents attribué à la dynamite doit être reporté à la poudre ; c'est cette dernière substance qui s'est enflammée et a produit l'explosion.

C'est donc en réalité :

Pour la poudre.	38
Pour la dynamite	10

Ces dix accidents de dynamite ont eu les causes suivantes :

Dégel des cartouches au feu.	1
Emploi d'un bourroir en fer.	1
Départ prématuré d'une mine.	1
Provenant de dynamite laissée dans le trou de mine.	2
Forages voisins de trous de mine.	2
Causes inconnues.	3

Ainsi l'on peut croire que la moitié au moins de ces ac-

(*) *Annual Report of Her Majesty's Inspectors of explosives.*

cidents auraient été évités si les ouvriers avaient mieux connu la matière. Sans parler du dégel au feu et de l'emploi d'un bourroir en fer, qui supposent une confiance exagérée dans l'innocuité de la dynamite, il est certain que les quatre accidents provenant de forages faits dans le voisinage de cartouches existantes auraient pu être évités par une instruction suffisante.

Pour l'Allemagne et l'Autriche, où l'usage des nouveaux explosifs a pris une grande extension (*), il eût été intéressant de faire une comparaison analogue. Malheureusement, nous ne pensons pas que cette statistique existe pour ces pays. Dans une brochure publiée à Vienne par M. Tranzl en 1876 (*La dynamite, économie et sécurité de son emploi*), nous trouvons l'énumération des accidents occasionnés par la fabrication et par l'emploi de la poudre; il n'y a pas ceux de la dynamite, et seulement cette affirmation : « Si l'on compare, du reste, le nombre d'accidents arrivés, pendant l'emploi, avec la dynamite et avec la poudre, on voit que le nouvel explosif donne une sécurité bien plus grande. »

Dans la péninsule ibérique, Espagne et Portugal, la consommation de la dynamite a pris une grande extension par suite de la facilité excessive, exagérée même, dont jouit le commerce de cette matière. Nous pourrons affirmer, par exemple, que la dynamite est publiquement mise en vente dans un quartier populeux de Barcelone, par un droguiste et par un confiseur.

La production des usines de Nobel est, dans la péninsule, de 250.000 kilog., et, avec la concurrence, on peut estimer la consommation annuelle, à 300.000 kilog. au moins.

C'est cependant à grand'peine qu'après bien des recherches nous avons pu arriver à la connaissance de deux

(*) La quantité de dynamite livrée par les quatre fabriques de la Société austro-allemande est annuellement d'environ 1.500.000 kil. En y ajoutant ce qui est livré par les usines concurrentes, on peut estimer à 2 millions de kilogrammes la consommation de ces pays.

accidents, dont l'un sans gravité, arrivés dans ces pays depuis qu'on y emploie la dynamite. Aussi la confiance dans cet explosif y est-elle très-grande, trop grande même, peut-être.

Cette confiance a été augmentée encore par les faits suivants :

Un jour des ouvriers débarquant un wagon de dynamite dans la gare de Séville, laissèrent échapper les caisses qui se brisèrent, et les cartouches se répandirent sur les rails. Une locomotive arrivant en ce moment passa sur les cartouches sans qu'il en résultât d'explosion.

En 1878, un dépôt de dynamite établi dans un bois, dans les environ d'Almeira, prit feu par suite de l'imprudence d'un fumeur. Tout brûla sans explosion. D'après les registres de la société, qui a dû passer l'article aux profits et pertes, il y avait dans ce dépôt 30 caisses de dynamite, soit 600 kilog. (*).

En France, la consommation de la dynamite n'a pris quelque extension que depuis l'année 1876, avec la liberté de cette industrie. Cette consommation a été d'environ 200.000 kilog. par an. Elle a été du reste entourée d'entraves tellement excessives, qu'on doit supposer un développement rapide à mesure que ces entraves disparaîtront.

Pendant les deux premières années 1876 et 1877, les accidents occasionnés par l'emploi de la dynamite ont été extrêmement rares. Je ne crois pas qu'on puisse en citer plus de trois ou quatre. Tous ont eu pour cause ou le dégel devant le feu, ou un bourrage accompagné de quelque imprudence (**).

Dans ces derniers temps, il est arrivé dans un délai assez court quelques accidents qui ont occasionné une certaine

(*) Voir note A, à la fin.

(**) Nous ne comprenons pas dans les accidents de dynamite l'explosion du Larmont. Il serait plus juste de la placer sous la rubrique des « Explosifs divers ».

émotion. Nous avons vu se reproduire successivement toutes les causes habituelles : dégel au feu, départ au bourrage, explosion par forage voisin, enfin cause mystérieuse dans la catastrophe de Blanzy.

Les accidents provenant du dégel par le feu finiront par disparaître. L'unique cause est l'ignorance; aussi ont-ils été également très-fréquents à l'origine dans les autres pays, en Suède et en Allemagne par exemple; aujourd'hui, au contraire, ils sont extrêmement rares (*).

L'emploi de cartouches durcies par le froid a donné lieu, à notre connaissance, en France, à deux accidents. Cette cause disparaîtra, comme la précédente, avec l'instruction des ouvriers.

Ces causes d'accidents disparaîtront encore quand les chefs d'atelier seront convaincus qu'ils ont tout intérêt à ne pas permettre l'emploi de la dynamite gelée, tant à cause du danger que du mauvais effet qu'elle produit, et quand ils connaîtront des moyens faciles de conserver cette matière à l'abri de la gelée.

Le forage d'un trou de mine dans le voisinage d'une charge, soit par suite d'un raté, soit par suite d'un oubli, présente toujours quelque danger. On peut cependant l'atténuer beaucoup par les prescriptions suivantes :

Si les trous de mine sont horizontaux, ne faire de nouveaux forages qu'au-dessus du trou, jamais au-dessous du plan horizontal passant par l'axe du trou de mine, de manière que le foret ne soit pas exposé à rencontrer la dynamite ou la nitroglycérine répandue à travers les fissures.

Si les trous de mine sont verticaux, demeurer, dans les nouveaux forages, à une distance d'au moins $0^m,20$ du plafond du trou chargé.

Quant aux causes mystérieuses, telles que celles qui ont accompagné l'accident de Blanzy, elles sont extrêmement

(*) Ces faits nous ont été affirmés par M. Nobel.

rares, et je ne crois pas qu'on puisse en citer, au moins en France, d'autres exemples.

Il y a donc tout lieu de supposer que cet accident est dû à une cause inconnue, comme cela arrive fréquemment quand la catastrophe a fait disparaître tous les témoins immédiats, qui seuls auraient pu mettre sur la voie de l'imprudence commise (*).

Ainsi, en résumé, par la comparaison des accidents qui ont eu lieu tant en France qu'à l'étranger, on ne peut conclure que la dynamite soit d'un usage plus dangereux que la poudre, et l'on doit être, au contraire, frappé de cette considération que, tandis que les accidents occasionnés par la poudre seront toujours difficiles à éviter à cause de la facilité d'inflammation de cette substance, ceux de la dynamite devront devenir extrêmement rares quand les propriétés de cette substance seront bien connues de ceux qui l'emploient.

Paris, 19 avril 1879.

Depuis que nous avons écrit ce mémoire, a paru le rapport annuel des Inspecteurs des matières explosives pour l'année 1878, en Angleterre. Nous en extrayons les données suivantes.

Le nombre des accidents occasionnés par les matières explosibles s'est élevé, pendant l'année 1878, à 104; mais, en laissant de côté ceux qui n'ont entraîné ni mort d'hommes, ni blessures, accidents qui presque tous (26 sur 28) ont eu lieu dans les manufactures, il y a eu 76 accidents ayant causé la mort de 40 personnes et en ayant blessé 92.

Sur ces 76 accidents, 18 sont imputables à la dynamite, 36 à la poudre et 22 aux explosifs divers.

Les 18 accidents dus à la dynamite sont tous arrivés

(*) Voir note B, à la fin.

pendant l'emploi. Il n'y en a eu aucun pendant la fabrication, le transport et la conservation.

Ces 18 accidents ont été attribués aux causes suivantes :

4, dégel devant le feu ;

1, explosion arrivée pendant le bourrage de la charge, par une cause inconnue ;

1, pêche à la dynamite : cartouche conservée trop longtemps entre les mains ;

4, départ inattendu de mines ayant raté ;

8, forages et chocs sur parties de dynamite ou de nitroglycérine demeurées, à l'insu des mineurs, dans des trous de mine. Dans l'un de ces cas, la dynamite avait dû être enflammée avec une charge de poudre, moyen insuffisant et par suite dangereux.

La fréquence relative des accidents de cette dernière nature montre combien il est utile d'être assuré des moyens de détonation que l'on emploie.

Parmi les accidents arrivés avec d'autres explosifs, le coton-poudre, nous citerons, comme ayant fait l'objet d'un rapport spécial, celui du tunnel de Halkyn, dans lequel un ouvrier a perdu la vie et onze ont vu la leur sérieusement compromise. La cause de cet accident aurait été uniquement la nature toxique du gaz, oxyde de carbone, dégagé par l'explosion de la matière.

Octobre 1879.

NOTE A.

Nous donnons la traduction littérale d'une note de M. l'administrateur délégué de la Société de dynamite espagnole, à Bilbao, sur les accidents de dynamite arrivés en Espagne.

Emploi de la dynamite Nobel en remplacement de la poudre dans l'exploitation des mines de l'Andalousie.

« C'est vers le milieu de l'année 1873 que la dynamite Nobel,
« fabriquée à Galdacano (Biscaye), par la société espagnole créée

« avec le concours de M. Nobel lui-même pour l'exploitation en « Espagne de son privilége, a été introduite en Andalousie. Natu- « rellement il y eut fort à lutter au début pour faire accepter « cette matière explosible par les ouvriers mineurs, qui n'avaient « jamais fait usage jusque là que de la poudre. Outre les préven- « tions justement accréditées contre la nitroglycérine, liquide « qu'on savait entrer dans la composition de la dynamite Nobel, « il résultait dans les premiers essais des maux de tête violents « qui décourageaient les plus intrépides. Ces douleurs étaient pro- « duites par les vapeurs azotées de l'explosion dans les galeries « souterraines insuffisamment ventilées. Ce n'est donc qu'à force « d'insistance, de temps et d'expériences que peu à peu les pré- « jugés ont été vaincus par la pratique, que les mineurs ont été « affranchis de toute défiance, et qu'ils se sont peu à peu habitués « aux vapeurs azotées de la dynamite, de même qu'ils le sont aux « fumées sulfureuses des milliers de tonnes de pyrites calcinées « à l'air libre sur le carreau des mines, sans le moindre détriment « pour leur santé.

« Une circonstance importante à noter en faveur de l'innocuité « de la dynamite au point de vue de son transport et manipula- « tion, c'est qu'il ne s'est pas produit pendant six ans, dans les « mille maniements des nombreuses caisses de dynamite reçues « par mer ou par chemin de fer de Galdacano, le plus minime « accident. Or il y a à ajouter aux diverses manipulations qu'im- « plique un semblable transport, déchargement et mise en ma- « gasin à Séville, toutes celles afférentes à la réexpédition et dis- « tribution sur mille points divers, tantôt par mer, tantôt par « charrettes, et plus souvent à dos de mulet. Pour ceux qui con- « naissent les habitudes d'insouciance et d'imprévision des arreros « andaloux, il est vraiment incroyable qu'ils aient pu transporter « au loin sur leurs bêtes un si grand nombre de caisses sans « éprouver le plus léger contre-temps. Ce fait seul parle très-haut « en faveur de l'innocuité de la dynamite Nobel de Galdacano, si « nous n'avions à citer un exemple encore plus probant, tel que « celui de quelques caisses, n° 1, renversées et écrasées sur notre « quai par un train lent de wagons vides sans la moindre explo- « sion. Ces caisses, qu'on déchargeait d'un vapeur, étaient empilées « le long de la voie, à distance convenable pour ne pas être at- « teintes, si bien qu'un train avait déjà passé sans les toucher. « Mais après survinrent des wagons plus larges d'une autre ligne, « d'où débordaient des manches de pelles qui, en accrochant « l'angle de la pile, furent cause de l'accident, qui n'eut d'autre

« conséquence que la détérioration de 10 ou 8 caisses et la perte « de quelques kilogrammes de cartouches écrasées.

« Dans les mines que nous desservons depuis 6 ans, il ne s'est « produit non plus d'autres accidents regrettables que celui de « Rio Tinto, le 9 décembre 1875 ; mais ce n'est point à l'explosi- « bilité de la dynamite qu'il est dû, mais simplement à la faute « d'un chef ouvrier qui eut l'imprudence de s'approcher d'un « grand feu autour duquel se chauffaient ses camarades, portant « sous son bras un coffret plein de cartouches amorcées avec cap- « sules et mèches qu'il allait placer dans les trous de mine déjà « préparés. On suppose qu'en se baissant près du feu, quelque « cartouche sera tombée sur le brasier, ou bien que le feu se com- « muniqua à un bout de mèche pendant.

« Le fait est qu'il y eut une explosion terrible qui tua 18 per- « sonnes et en blessa plus ou moins grièvement 17 ou 18 autres, « sans qu'on retrouvât autre chose que la tête de cet infortuné « capatos (contre-maître). Ce malheur eut lieu sur le carreau de « la mine ; mais malgré la sensation profonde qu'il produisit, on « n'en persista pas moins à se servir de dynamite, et il faut dire « à l'honneur des directeurs qu'en nous annonçant ce funeste « accident, ils nous firent une nouvelle commande. »

NOTE B.

La catastrophe de Blanzy a été produite, on le sait, par l'explosion d'une boîte de dynamite demeurée sur l'exploseur électrique, placé à peu de distance de l'orifice du puits dans lequel s'effectuait le fonçage.

Il est clair que l'accident a été produit ou par une imprudence, ou un oubli, ou toute autre cause de ce genre qu'on ne connaîtra jamais, puisque l'auteur en a été victime, ou par suite des conditions mêmes dans lesquelles se trouvait la dynamite qui a fait explosion.

Or ces conditions peuvent être indéfiniment et presque identiquement reproduites (sauf la quantité de matière explosive), de sorte qu'il paraît impossible de ne pas arriver à une certitude presque absolue sur cette question.

Si, comme quelques-uns l'ont supposé, l'explosion a été produite par la commotion ou la transmission des vibrations à cette distance, soit par la terre, soit par les conducteurs métalliques, rien de plus facile que de le vérifier.

Si l'accident est la conséquence d'un phénomène électrique, il sera peut-être plus difficile de le reproduire exactement ; mais encore peut-on varier les conditions de manière à arriver à une certitude au moins relative.

Toutes les expériences faites jusqu'à ce jour ont donné ce résultat, que l'électricité, du moins dans les limites de ce que peuvent produire nos appareils usuels, est sans influence sur la dynamite. Voici du reste les essais que nous avons fait récemment, et qui n'ont fait que confirmer ce que nous savions déjà.

Au moyen d'un exploseur à friction de Mahler, analogue à l'exploseur Bornhardt, nous pouvions produire très-régulièrement une étincelle de 5 centimètres de longueur entre une tige mobile et un bouton fixe. Sur le parcours de cette étincelle nous avons placé des fragments de dynamite, puis nous avons placé ces fragments contre le bouton, de manière à recevoir complètement le choc de l'étincelle ; nous avons employé successivement de la dynamite molle et de la dynamite gelée dure. Nous n'avons obtenu dans tous les cas que la dispersion des fragments de dynamite.

Nous avons placé ensuite une cartouche de dynamite molle dans le courant électrique, en plongeant l'extrémité des conducteurs dans la cartouche : pas d'effet. Même opération avec une cartouche gelée, en entourant la cartouche par les deux bouts au moyen des conducteurs soigneusement dénudés : aucun effet.

NOTE

SUR

L'EMPLOI DE L'ÉLECTRICITÉ

POUR LE TIRAGE DES COUPS DE MINES

Par M. JUTIER, ingénieur en chef des mines.

L'emploi de l'électricité pour allumer les coups de mines tend à se répandre chaque jour davantage dans les exploitations minières; son maniement est devenu facile et pratique : avant de rendre compte de ce qui se fait actuellement, sous ce rapport, dans le département de Saône-et-Loire, il n'est pas sans intérêt de jeter un coup d'œil sur le passé.

C'est dans les *Annales du génie militaire* qu'il faut rechercher les premiers essais et l'origine des progrès qui ont été faits dans cette voie : les fourneaux de mines constituent un des éléments de la défense des places fortes; on conçoit de quelle importance il est pour l'assiégé d'avoir constamment à sa disposition le moyen d'y mettre le feu à l'instant précis où l'explosion pour laquelle ils ont été préparés peut avoir l'action la plus considérable; un retard, même de peu d'instants, peut suffire pour en modifier complétement les effets; l'électricité était, à ce point de vue, un agent des plus précieux, à la seule condition qu'on pût avoir une entière confiance dans ce mode d'inflammation.

Dès l'année 1832 des essais furent tentés dans cette direction : les effets variés et puissants des courants dynamiques étaient encore peu connus; aussi le seul phénomène électrique que l'on eut l'idée d'employer fut la décharge de la bouteille de Leyde; mais on était encore peu familiarisé avec cette applicatiion de la science; on fut, parait-il,

rebuté par la difficulté d'obtenir un isolement suffisant des fils et de déterminer sûrement à distance le départ de l'étincelle nécessaire pour enflammer l'amorce; on renonça donc à ces tentatives.

Elles furent reprises une dizaine d'années plus tard, avec les appareils d'induction; la condition d'isolement absolu n'était plus aussi nécessaire : on chercha à utiliser les propriétés des courants dynamiques, soit en échauffant jusqu'au rouge un mince fil de métal, soit en profitant de l'arc voltaïque qui se manifeste entre deux pointes très-fines de charbon placées en regard l'une de l'autre et légèrement en contact; en même temps Ruhmkorf perfectionnait les appareils d'induction; les résultats furent plus satisfaisants, et l'industrie s'empressa de se les approprier.

En 1854 M. Du Montcel employa un appareil de MM. Ruhmkorf et Verdu, pour faire partir simultanément, dans le port de Cherbourg, plusieurs mines considérables, contenant chacune plus de 4.000 kilog. de poudre; le déblai obtenu fut de plus de 30.000 mètres cubes de rocher, et l'on estima que la simultanéité de l'explosion de ces mines avait augmenté dans le rapport de 5 à 6 l'effet produit, en sorte que l'avantage aurait été de 1/5e; cet essai si bien réussi, dans des conditions d'ailleurs peu ordinaires, eut à cette époque un certain retentissement et a même trouvé place dans des traités spéciaux (*).

La première application dans les mines paraît remonter à l'année 1851 : elle a été faite par M. Dumas, dans les mines de fer de Veyras (Ardèche) et a donné lieu à un rapport intéressant de M. Castel, ingénieur des mines, inséré dans les *Annales des mines* (**). Il s'agissait de foncer un puits dans lequel l'affluence de l'eau était fort gênante : l'amadou

(*) Correspondance du 25 septembre 1854, de l'Académie des Sciences, et *Annales des ponts et chaussées*, 1854, 2e sem., p. 378.

(**) Année 1852, t. XI, p. 199.

et les canettes ne pouvaient être employées; les étoupilles de Bickford, d'invention récente, étaient souvent mal fabriquées; elles manquaient de régularité, et les ouvriers refusaient de s'en servir; c'est pour échapper à ces difficultés que M. Dumas eut l'idée de recourir à l'électricité.

Le procédé reposait sur l'emploi de l'électricité dynamique produite par une pile de Bunsen de dix éléments: le puits n'avait que 50 à 60 mètres de profondeur; le courant voltaïque, conduit par des fils de cuivre de 2 millimètres de diamètre recouverts de gutta-percha, portait au rouge un petit fil de fer fin de bijoutier, supporté par une mince baguette de bois dont l'extrémité était placée, avant le bourrage, au centre de la poudre versée dans le trou de mine: en quatre mois on avait tiré 882 coups de mine; le prix de revient n'était que de $0^{f},147$ par coup de mine et aurait pu être encore abaissé, d'après l'auteur de la notice.

Mais l'économie n'était point, comme on l'a vu, le but principal à poursuivre, et le prix de revient, à supposer qu'il fût bien exact, n'était pas le seul élément dont on eût à tenir compte; on ne pouvait, paraît-il, faire partir qu'un seul coup à la fois; ce maniement d'acides, de cylindres en terre poreuse ou en zinc amalgamé, l'entretien, le renouvellement de ces éléments de la pile, exigeaient des soins et une surveillance assidus; aussi ne paraît-il pas qu'on ait songé, malgré cette économie apparente et les avantages signalés, à maintenir ce mode d'inflammation; on est plutôt surpris qu'à une époque si récente on ait vu un obstacle sérieux dans des difficultés qui sembleraient aujourd'hui bien légères; car sans même recourir à la dynamite, qui rend de si grands services dans les fonçages et la traversée des terrains aquifères, on ne serait nullement embarrassé maintenant pour poursuivre le fonçage d'un puits tel que celui de Veyras avec des cartouches goudronnées et des étoupilles à la gutta-percha.

Le deuxième essai dont nous trouvons la trace est dû

à M. Grille, ingénieur à Villiers, qui a employé un procédé analogue, de 1869 à 1872, pour le fonçage du puits de la Chana (*) : le prix de revient était, tous frais compris, de 0f,2165 par coup de mine : comme M. Dumas, il était obligé de les allumer successivement; en 1875 il obtint de meilleurs résultats et faisait partir à la fois trois ou quatre coups à 300 mètres de distance, au moyen d'une pile formée de quatorze éléments au bichromate.

Pendant ce temps, c'est-à-dire en 1869, on employait déjà avec un plein succès, à Moresnet, l'électricité statique pour faire partir simultanément plusieurs coups de mine (**).

L'Exposition de Vienne a permis de mettre en évidence et de signaler simultanément à l'attention des ingénieurs un ensemble de procédés ou de produits récents destinés à avoir une influence très-marquée sur l'exploitation des mines et qui étaient faits pour se prêter un mutuel secours; nous voulons parler de la dynamite, des machines perforatrices et de l'amorçage électrique : de grands progrès avaient été faits sur ce dernier sujet, et en grande partie sous l'influence du Comité militaire du génie autrichien ; MM. Mahler et Eschenbacher avaient réuni dans un pavillon spécial une exposition fort complète et fort intéressante de tout ce qui concerne les matières explosives et l'amorçage électrique.

Les sources productives de l'électricité peuvent, au point de vue qui nous occupe, être rangées en trois catégories :

1° *Les piles hydro-électriques.* — L'électricité dynamique fournie par la pile est employée à échauffer un mince fil de métal qui met ainsi le feu à l'amorce.

En raison de la faible tension de l'électricité, on peut employer des conducteurs non isolés ou d'un isolement imparfait : on peut communiquer le feu simultanément à

(*) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1872, t. Ier.
(**) *Annales des mines*, 1re et 2e livraison, 1871, p. 58.

un grand nombre de fourneaux; à un moment quelconque et en substituant à la pile destinée à la mise en feu une pile suffisamment faible, on peut vérifier l'état des amorces, considération importante lorsqu'il s'agit d'un réseau de fourneaux de mines ou de torpilles, mais sans utilité dans la pratique industrielle; mais, par contre, la distance à laquelle on peut porter le feu est assez faible, à moins qu'on n'augmente le nombre des éléments ou l'isolement des fils; les piles exigent un entretien constant et des soins spéciaux; elles se prêtent mal au transport.

Ce procédé, qui a servi aux premiers essais dont nous avons rappelé l'origine, ne paraît plus avoir aucun intérêt pour l'industrie.

2° Les appareils électro-magnétiques, qui se divisent eux-mêmes en deux classes, suivant qu'on veut utiliser les courants directs ou les courants d'induction.

La première classe comprend les appareils de Wheatstone, de Heuley, qui ont été utilisés dans les expériences entreprises de 1856 à 1858 à Woolwich et à Chatam, sur l'explosion des charges de poudre : ils ont été bien vite délaissés en présence des progrès continus de l'électricité d'induction.

Les amorces pour les appareils d'induction sont formées d'un fil conducteur interrompu dans le corps de l'amorce : entre ces deux extrémités très-rapprochées (de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{40}$ de millimètre), est introduite une poudre fulminante rendue légèrement conductrice; le passage du courant dans cette poudre, et l'étincelle qui en résulte produisent son inflammation.

Les appareils de cette catégorie ont reçu diverses modifications qui ont eu surtout pour objet d'augmenter leur puissance tout en diminuant leur poids : l'exploseur de M. Bréguet paraît très-bien satisfaire à cet ensemble de conditions; nous citerons encore les appareils de Marius,

employés dans l'armée autrichienne; de Skidmore, de Ruhmkorf, de Siemens et Halske.

La portée de ces appareils est considérable; un seul fil, dont la grosseur est presque indifférente, est suffisant, le fil de retour pouvant presque toujours être remplacé par la communication avec le sol : les appareils sont très-portatifs et peuvent être maniés par la personne la moins expérimentée; mais il est indispensable que le fil conducteur soit parfaitement isolé, et que les amorces soient préparées avec une grande exactitude : ces deux conditions, qui pouvaient motiver au début quelque appréhension, ne présentent plus aucune difficulté aujourd'hui que la grande consommation, soit des fils conducteurs, soit des amorces, a créé des industries spéciales dont les produits offrent toutes les garanties désirables de régularité.

3° La troisième catégorie repose comme la précédente sur l'électricité de tension, mais en employant l'électricité statique produite par le frottement, comme dans la machine électrique ordinaire, et accumulée dans une bouteille de Leyde, dont la décharge fait éclater l'étincelle ; les conditions relatives soit aux conducteurs, soit aux amorces, sont identiquement les mêmes que dans les appareils précédents, et les appareils de ces deux classes, qui sont presque les seuls usités aujourd'hui dans l'industrie, peuvent au besoin se suppléer mutuellement ; mais l'Exposition de Vienne a montré des générateurs d'électricité statique dus à MM. Ebner, Bornhardt, Abegg et Elsner (*), qui réunissaient au plus haut degré les conditions pratiques désirables, puisqu'ils étaient assez légers, très-simples, très-faciles à manier, d'un emploi très sûr, d'un prix modique, et qu'ils donnaient des étincelles puissantes dont la lon-

(*) On désigne parfois ce groupe de machines électriques sous nom le d'*ebnerites*, du nom du général d'Ebner, qui depuis 1853 s'est attaché à les perfectionner et à en répandre l'emploi.

gueur pouvait aller à 5, 6, 8 centimètres et même au delà : le progrès considérable réalisé, soit dans les appareils, soit dans les amorces, paraît dû en grande partie à l'adoption de ce procédé d'amorçage par le génie militaire autrichien ; l'industrie minière s'en est emparée avec empressement, et leur emploi ne peut manquer de se propager rapidement.

Le système Ebner adopté par le génie autrichien, le système Abegg employé en 1868 dans le bassin de Saarbrück où il a été perfectionné, et qui a été introduit depuis avec succès, en 1871, aux charbonnages de Crach et Picquery en Belgique, le système Elsner qui produit des effets considérables, ne diffèrent que par certains détails de l'appareil Bornhardt ; celui-ci paraît être le plus ancien après le système Ebner, puisqu'il datait déjà d'une dizaine d'années à l'époque de l'Exposition de Vienne ; c'est d'ailleurs le seul usité dans le bassin de Saône-et-Loire, où nous avons eu l'occasion de le voir fonctionner, et sa description rendra superflue celle des systèmes analogues dont nous venons de donner les noms.

La machine peut être à un ou deux plateaux, à une ou deux bouteilles de Leyde : celle qui était employée au puits Saint-Amédée de la compagnie de Blanzy, et que nous avons eu l'occasion d'examiner, est à deux plateaux et à deux bouteilles ; son poids n'est que de 19 kilog. et demi (*) ; elle est renfermée dans une boîte en bois de forme rectangulaire, de $0^m,38$ de haut, de $0^m,55$ sur $0^m,27$ de base (Pl. IV, *fig.* 1 à 4), qui est elle-même divisée en deux compartiments ; l'un M, N, P, Q, complétement fermé, et qui ne s'ouvre que fort rarement, contient les appareils producteurs de l'électricité ; l'autre, M, N, R, S, peut s'ouvrir autour de la charnière R en rabattant le couvercle sur le

(*) Le poids n'est même que de 10 kilog. pour les machines à un seul plateau, très-suffisantes pour les travaux de mine ordinaires.

dessus de la boîte, et met ainsi à découvert les armatures extérieures *a* et *b*.

Un manivelle A sert, à l'aide d'un petit engrenage, à actionner les disques en ébonite ou caoutchouc durci, BB, qui sont serrés entre deux coussinets *cc* garnis de peau de chat ; l'électricité résineuse développée par le frottement est recueillie par les peignes *dd* et amenée par un conducteur métallique à l'intérieur de la bouteille de Leyde ; ce conducteur et les pointes sont noyés dans des plaques d'ébonite destinées à empêcher la déperdition du fluide : un écran analogue et indépendant *ee* est placé dans le même but en avant des armatures extérieures des bouteilles, entre ces armatures et les disques ; les parois verticales et le fond de la boîte sont intérieurement garnis d'une petite feuille de tôle qui supporte les coussinets *cc* et la bouteille de Leyde ; le dessus est fermé par une plaque en ébonite légèrement bombée et consolidée au pourtour par un cadre en tôle ; par dessus cette plaque se trouve le couvercle en bois ; des écrous en fer *fff* servent à fermer la boîte en assujettissant ce couvercle, et à serrer, au moyen de ressorts, la plaque en ébonite contre les parois verticales ; l'axe de la manivelle, les tiges qui pénètrent au travers de la paroi, traversent des presse-étoupes, de façon à maintenir ce compartiment tout à fait isolé des influences extérieures, et surtout de l'humidité : du charbon préalablement chauffé au rouge est disposé, comme substance hygrométrique, dans les angles KK.

En ouvrant la paroi verticale RS (*fig.* 2 et 4), on aperçoit deux boucles métalliques *a* et *b* qui correspondent aux deux armatures des bouteilles de Leyde : ces deux axes *a* et *b* sont reliés intérieurement par une baguette verticale *gh*, dont les extrémités seules sont en métal et la partie intermédiaire en substance isolante : cette baguette peut osciller à sa base autour d'un axe métallique *g* qui est en relation, d'une part, avec l'armature extérieure de la bouteille de

Leyde, et de l'autre avec le fil de retour accroché à la boucle *b*; lorsqu'on pousse le bouton *m*, la tête *h* de cette baguette s'écarte de la boucle *a* et de l'axe *ah*, contre lequel elle était pressée par un ressort qu'elle entraîne avec elle; elle vient se mettre en contact avec la tête de l'armature intérieure; l'étincelle jaillit et le fluide circule dans le fil *a* qui aboutit aux amorces, et par leur entremise au fil de retour; une plaque circulaire *pp* en matière isolante assure le passage du fluide.

Lorsqu'on veut essayer la machine, on accroche aux deux boucles *a* et *b*, non pas les fils conducteurs, mais deux chaînettes en laiton *ar*, *bs* (*fig* 4), qui aboutissent par leurs extrémités à une rangée de 16 clous en laiton *rs* fixés sur le côté de la boîte et dont les têtes sont séparées l'une de l'autre par des intervalles de 2 millimètres chacun : on peut alors observer combien il faut de tours de roue pour que l'étincelle jaillisse entre les lacunes de cette garniture métallique.

Cette disposition, dans les nouvelles machines, est remplacée par une autre qui paraît bien préférable : le pôle inférieur porte une baguette métallique verticale graduée, qui peut glisser à frottement doux dans une douille : on la rapproche plus ou moins du pôle négatif, et on peut constater à quelle distance jaillit l'étincelle pour un nombre de tours déterminé des disques.

En opérant avec une machine neuve semblable à celle que nous venons de décrire, nous avons trouvé que l'étincelle jaillissait à une distance de 60 millimètres pour 20 tours de la manivelle ou 80 tours des plateaux, de 70 millimètres pour 25 tours de la manivelle ou 100 tours des plateaux, de 80 millimètres pour 30 tours de manivelle ou 120 tours des plateaux; au delà de ce nombre de tours on n'obtient pas plus d'effet; si on augmente la distance de la pointe, une sorte de sifflement indique la déperdition du fluide, qui s'échappe sans produire d'étincelle.

Les amorces sont constituées par un mélange qui doit remplir cette double condition d'être suffisamment conducteur et d'être détonant.

Voici d'ailleurs la composition de quelques-uns des types qui paraissent les plus usités :

Chlorate de potasse.	22,00	= 100.
Sous-sulfure du cuivre.	64,00	
Sous-phosphure de cuivre. . . .	14,00	

Chlorate de potasse.	46,00	= 100.
Sulfure d'antimoine.	44,00	
Charbon de cornue en poudre. .	10,00	

Chlorate de potasse.	41,66	= 100.
Ferrocyamure de potassium. . .	25,00	
Soufre ou sucre en poudre. . . .	20,84	
Charbon.	12,50	

Cette dernière composition, connue sous le nom de poudre blanche ou poudre d'Augendre, donne de très-bons résultats comme sensibilité et comme constance : le mélange se fait au mortier sans aucun danger, tandis que d'autres préparations exigent de grandes précautions pour éviter la déflagration.

Chlorate de potasse.	50	= 100.
Sulfure d'antimoine.	50	

On voit que le chlorate de potasse forme de un quart à moitié de la composition, qui est explosible par le choc : une amorce de ce genre placée sur une enclume et soumise au choc d'un marteau produit une détonation assez forte; il peut en résulter parfois des accidents, comme cela est arrivé le 21 juin 1878, au Puits Ségur de la concession de Montchanin (*).

Une amorce que nous avons défaite était construite de la façon suivante (voir *fig.* 11) :

(*) Voir à la fin du présent article la note A sur cet accident.

Deux fils minces de cuivre sont noyés dans un culot *c*, formé d'un mélange de soufre et de verre pilé, que leurs extrémités dépassent légèrement; celles-ci sont recourbées et placées en face l'une de l'autre en *d'*, de façon à être séparés par un intervalle d'environ un demi-millimètre (*); sur la base la plus petite de ce culot de soufre sont enroulés plusieurs tours de papier formant une petite cartouche de 5 millimètres de diamètre intérieur, dans le fond de laquelle on verse la poudre au chlorate de potasse sur 6 millimètres de hauteur; on bouche l'orifice avec une rondelle de caoutchouc *f* revêtue d'une feuille d'étain, et l'on assure la fermeture par une petite couche de poix; à l'extrémité opposée en *b* on tord les deux fils de cuivre avec les deux fils de fer, maintenus à distance par une bande de papier fort, qui doivent sortir du trou de mine, et l'on recouvre la ligature, pour la consolider, par une autre bande de papier de 10 millimètres de hauteur; tout l'ensemble est couvert d'un enduit résineux formant vernis et consolidant la cartouche.

Lorsque l'amorce est destinée à la dynamite (*fig.* 5), on ajoute, par-dessus la poudre au chlorate, un petit disque de papier de coton-poudre, puis une charge convenable de fulminate de mercure dont la détonation est nécessaire pour assurer l'explosion de la dynamite; ce fulminate est renfermé dans une capsule en cuivre qui le protége, en même temps qu'elle consolide l'extrémité de l'amorce et qu'elle augmente l'intensité de l'explosion.

Les deux fils aboutissant à l'amorce placée dans la charge du coup de mine et qui doivent traverser le bourrage, doivent

---

(*) Le fil de cuivre est continu et forme une boucle lorsqu'on confectionne l'amorce : c'est après qu'il a été assujetti dans le soufre qu'avec une pince appropriée on enlève cette petite portion de métal de un demi-millimètre de longueur : cet intervalle doit être rigoureusement égal dans toutes les amorces, afin que la résistance soit pareille.

à la fois être parfaitement isolés et maintenus à distance; trois dispositions sont adoptées dans ce but et se partagent les préférences des exploitants :

1° Des baguettes de bois méplates (Holzstäben), d'environ 0m,01 de côté, sur les faces opposées desquelles existent des rainures où les fils sont logés, et recouverts par un papier et un vernis;

2° Des fils de tissu (Gutedrahtleitung), dans lesquels les fils sont recouverts par un tissu comme la poudre dans les étoupilles de Bickford; ces fils sont également recouverts de gutta-percha lorsqu'on doit tirer les mines sous l'eau;

3° Les bandes électriques (Bandleitung), dans lesquelles les fils sont isolés par du papier fort enduit de poix et dont nous avons détaillé plus haut la confection : ces bandes tiennent peu de place; elles sont très-maniables, s'enroulent facilement tout en offrant une résistance suffisante au bourrage; elles peuvent même servir pour les mines humides, si elles ne séjournent pas trop longtemps dans l'eau; elles paraissent être les plus répandues et sont d'un usage commode.

Ces amorces de 0m,80 de longueur, avec les fils, coûtent de 11 à 13 francs le cent prises à Vienne (Autriche). Il faut ajouter 2f,25 p. 100 s'il s'agit d'amorces pour *dynamite*, et 10 p. 100 en plus pour frais de transport et emballage.

Le tirage électrique a été établi le 5 juillet 1876 pour le fonçage du puits Saint-Vincent, de la concession de Montchanin, par les soins de M. Ollier, directeur des travaux; le puits avait alors 332 mètres de profondeur : il était arrivé le 1er décembre 1878 à 512m,55, après avoir constamment traversé des grès houillers assez résistants; pendant ce temps on a consommé :

78 kilog. de dynamite n° 1,
578 — de poudre comprimée,
289 — de poudre ordinaire,

et tiré 4.887 coups avec la machine Bornhardt : il y a eu,

sur ce nombre, 48 ratés : mais ces ratés provenaient évidemment de l'inexpérience des ouvriers ou des surveillants, de leur ignorance des précautions à prendre pour isoler les fils et pour assurer ainsi le passage de l'étincelle électrique dans l'amorce ; ce qui le prouve, c'est que ces ratés ont complétement disparu à partir du mois de janvier, comme on peut le voir par le tableau suivant, qui comprend toute l'année 1878.

ANNÉE.	MOIS.	PROFONDEUR à la fin du mois.	COUPS de mine		DYNAMITE employée.	POUDRE	
			réussis.	ratés.		comprimée.	ordinaire.
		mèt. cubes.			kilog.	kilog.	kilog.
1878. .	Janvier.	458,45	337	7	»	30	40
— . .	Février.	448.95	278	»	»	46	»
— . .	Mars	455,15	131	»	»	21	»
— . .	Avril.	467.15	180	»	1,5	25	»
— . .	Mai.	478.65	234	»	2,5	51	»
— . .	Juin.	481.50	342	»	7,5	70	»
— . .	Juillet.	484,45	267	»	5,5	60	»
— . .	Août	490,00	415	»	50,1	39	»
— . .	Septembre.	500,00	509	»	5,0	100	»
— . .	Octobre.	507,95	283	»	»	70	»
— . .	Novembre.	512,55	222	»	»	60	»
			3.200	7	78,1	578	40

On voit qu'à partir de la fin de janvier il n'y a pas eu un seul raté sur 2.863 coups de mine, pour un approfondissement de 74^{m},10 (*).

On remarquera encore sur ce tableau la disparition de l'emploi de la poudre de mine ordinaire ; la poudre comprimée étant beaucoup plus dense que la poudre ordinaire, la charge occupe une moindre hauteur dans le fond du trou qui a été foré ; la hauteur de la bourre est au contraire plus considérable, et l'effet produit plus intense,

(*) Du 23 novembre 1878, date de la clôture de ce tableau, au 14 mars 1878, il a encore été tiré 935 coups de mine au puits Saint-Vincent avec le même succès : il n'y aurait donc pas eu un seul coup raté sur 3.798 coups de mine. Il en était tout autrement au début.

bien que la composition de la poudre soit identiquement la même; cette différence dans les effets compense et au delà la différence des prix (2f,50 au lieu de 2f,25 le kilogramme), et l'emploi de la poudre Davey, comme elle s'appelle du nom de son fabricant, tend à s'accroître aux dépens de la poudre ordinaire; on doit s'en féliciter également au point de vue de la sécurité, car ces cartouches mises sous forme de cylindres solides présentent moins de chances d'accident dans leur maniement que la poudre en grains.

L'installation du puits Saint-Vincent se compose d'une machine Bornhardt et de deux fils conducteurs descendant dans le puits jusqu'à 10 ou 20 mètres du fond, de façon que les coups de mine ne puissent les atteindre; ces fils sont enroulés sur deux bobines placées au jour près de la machine et qu'on déroule au fur et à mesure de l'approfondissement; les extrémités restées sur les rouleaux peuvent être mises en communication avec l'appareil au moyen de petites chaînettes en cuivre.

Les fils conducteurs sont eux-mêmes en cuivre et recouverts de gutta-percha; on les a pris à section décroissante, afin qu'ils fatiguent moins sous leur propre poids, et néanmoins, pour les soulager davantage, M. Ollier a disposé tous les 100 ou 150 mètres de petits leviers qui les saisissent d'un côté à l'aide d'une pince garnie de caoutchouc et qui portent de l'autre un contre-poids.

De 0 à 250 mètres du fond, ces fils ont 0m,002 de diamètre (n° 13) et sont recouverts d'une couche de 0m,006 de gutta-percha; ils pèsent 56 grammes et reviennent à 0f,60 le mètre courant; de 250 à 500 mètres, ils ont un diamètre de 0m,0024 (n° 15) et sont recouverts de 0m,0065 de gutta-percha; ils pèsent 70 grammes et reviennent à 0f,75 le mètre courant.

Le prix des fils de ce genre est de 9f,80 le kilogramme à Paris, soit 10f,75 rendus à pied d'œuvre.

D'après les notes que nous devons à l'obligeance de M. Ollier, l'installation jusqu'à 500 mètres de profondeur aurait coûté :

	francs.
Une machine Bornhart de 240 à.	165.00
500 mètres, fils n° 13, gutta-percha.	283,85
500 — fils n° 15, id.	340,35
Transport et frais divers.	27,20
Rouleaux, poulies, installation.	140.35
Total.	956,65

soit environ 2 fr. par mètre pour un puits de 500 mètres.

M. Fayol, directeur des mines de Commentry, est arrivé à un résultat semblable.

Le tirage électrique a été installé le 5 janvier 1878 par cet ingénieur au fonçage du puits des Forges : la dépense de cette installation pour une profondeur de 350 mètres a été de 752f,75, savoir :

	francs.
Un appareil électrique.	200,00
32k,5 de fil de cuivre rouge recouvert de gutta-percha de 6 millim. à 12f,50.	384,40
3k,5 de fil de cuivre rouge recouvert de gutta-percha de 2 millim. à 10f,30.	36,05
1 kilog. de fil de laiton jaune.	3,55
Une bobine pour enrouler les fils.	12,10
Une armoire pour l'appareil.	20,05
Main-d'œuvre et frais divers.	96.90
Total.	752,75

Quant aux dépenses courantes, il faut tenir compte non-seulement du prix de l'amorce, mais encore de la consommation des fils intermédiaires d'accouplement, laquelle représente une dépense qu'on ne peut négliger ; il résulte, en effet, des attachements, qu'au puits Saint-Vincent de Montchanin, pour les vingt derniers mètres de fonçage, cette dépense a été en moyenne de 0f,075 par coup de mine (*).

(*) Elle est évaluée à 0f,055 par M. Fayol.

D'après cela, l'amorce électrique coûterait :

0f,1925 pour la poudre (*),
0f,2190 pour la dynamite.

Tandis que l'amorçage ordinaire avec les mèches de sûreté aurait coûté :

0f,06 pour la poudre avec mèche blanche,
0f,16 pour id. id. gutta percha,
0f,23 pour la dynamite avec mèche gutta-percha (0f,16+0f,07).

On voit que le prix de l'amorçage, un peu plus élevé quand il s'agit de la poudre, est au contraire en faveur de l'amorçage électrique lorsqu'on emploie la dynamite ; mais pour établir une juste comparaison au point de vue économique, il faudrait tenir compte d'un autre élément fort essentiel, bien qu'il ne puisse être traduit en chiffres ; il s'agit de l'avantage très-marqué, au point de vue du vide produit, que l'on trouve à faire partir les coups de mine simultanément (**) : quant aux conditions de sûreté, qui

(*) 0f,107 prix de l'amorce,
0f,0107 10 p. 100 de transports divers,
0f,075 perte des fils d'accouplement.

Total 0f,1927

Pour la dynamite nous devons ajouter 0f,0265 comme nous l'avons dit ci-dessus.

(**) Il suffit pour cela de tordre le fil de gauche de l'une des amorces avec le fil de droite de l'amorce voisine, et ainsi de suite, de façon à établir un circuit complet ; au puits Saint-Amédée on a souvent tiré des volées de sept coups de mine à la fois, sans aucune difficulté.

Le 5 juin 1877, M. Ollier a fait une expérience en disposant un circuit de 100 amorces sur le sol ; ces amorces étaient séparées de la machine, d'une part, par les 100 mètres des conducteurs principaux du puits, de 2 millim. et 1mm,5 de diamètre, plus 100 mètres de fil n° 2 d'amorce de 6 millim. ; de l'autre (du côté de l'armature intérieure), par 600 mètres de ce même petit fil n° 1.

On se servait d'une machine Bornhardt n'ayant qu'un seul plateau et qu'une bouteille de Leyde, que l'on chargeait au maximum ;

sont d'une autre importance, il suffit pour le moment de les rappeler.

Le tirage électrique a été installé au puits Saint-Amédée de la concession de Montmaillot, en mars 1878, par M. Mathet, directeur des travaux de mines de la compagnie de Blanzy; on a pris pour fil conducteur le fil dit *de campagne*, formé d'un fil de cuivre de 1mm,5 de diamètre recouvert d'un enduit d'environ 3mm,5 de gutta-percha, ce qui porte son diamètre total à 8 millim.; une enveloppe tissée protége l'extérieur du fil, qui offre ainsi des garanties très-grandes au point de vue de l'isolement et de la durée; il pèse 70 grammes et coûte 0f,75 le mètre courant; l'amorçage se fait avec du fil de fer mince sans enveloppe; il n'y a donc aucune dépense de ce chef dans le prix du coup de mine; mais par contre l'isolement n'est plus aussi bien assuré, surtout s'il y a plusieurs coups simultanés, et il faut une plus grande surveillance pour éviter les ratés; on s'est dispensé du fil de retour, bien que la profondeur soit de plus de 150 mètres; on l'a remplacé par la tige métallique des pompes, que l'on met en communication au fond avec la dernière amorce, au jour avec l'armature extérieure de la bouteille de Leyde.

Cette communication a toujours été satisfaisante, bien qu'on ait fréquemment fait partir jusqu'à sept coups de mine à la fois.

Lorsqu'on opère dans une galerie un peu longue, on peut également se dispenser de prolonger le fil de retour jusqu'au jour, en plongeant son extrémité dans l'eau ou en l'attachant à une barre de fer fixée dans le sol humide, de façon à assurer le passage jusqu'au sol de la décharge électrique.

---

trois volées ont fait partir 42 amorces, soit une moyenne de 14 amorces par volée. Les amorces qui faisaient explosion étaient toujours celles qui étaient disposées du côté du bouton de la bouteille de Leyde, c'est-à-dire du côté de l'armature intérieure.

Les résultats ayant été très-satisfaisants, on a généralisé l'emploi de la machine Bornhardt dans les mines de la compagnie de Blanzy en l'employant notamment dans tous les cas où l'on avait à se précautionner contre le grisou : en effet, si le tirage à la poudre est généralement interdit dans les chantiers grisouteux, il est des cas où cette prescription devient fort gênante, par exemple lorsqu'il s'agit d'abattre une barre de rocher dans la couche, ou de poursuivre un travers-bancs au voisinage d'un soufflard : l'allumage électrique permet de faire partir les coups de mine alors que tous les ouvriers sont sortis et sans courir aucune chance de danger ; lorsqu'il s'agit d'un fonçage, c'est le chef de poste lui-même qui sort le dernier du puits, après avoir vérifié l'état des amorces, l'isolement des fils, et qui manœuvre lui-même l'appareil électrique ; on s'exempte ainsi totalement de cette obligation toujours inquiétante d'enlever rapidement l'ouvrier du fond lorsqu'il a donné le signal et mis le feu aux étoupilles, de façon à le soustraire aux conséquences de l'explosion.

Un seul accident, d'une nature tout à fait exceptionnelle, s'est produit le 22 septembre 1878 au puits Saint-Amédée ; sept coups de mine, contenant ensemble 1k,400 de dynamite avaient été préparés au fond ; les ouvriers étaient remontés au jour et groupés autour de la machine électrique ; sur le couvercle en bois de cette machine on avait déposé la petite boîte en carton dans laquelle on avait pris 3 cartouches de dynamite n° 1 et dans laquelle il restait encore 25 cartouches représentant un poids de 2k,500 ; au moment où l'on fit partir l'étincelle en pressant le bouton, cette provision de dynamite fit explosion en même temps que les coups de mine du fonçage ; trois ouvriers furent tués, douze ouvriers situés dans un rayon de 5 à 7 mètres furent violemment renversés sur le sol ; un seul d'entre eux a été grièvement blessé.

La machine dont on faisait usage était une machine Born-

bardt à deux plateaux, à deux bouteilles de Leyde, semblable à celle que nous avons décrite ; on a fait venir une machine identique avec laquelle nous avons fait de nombreuses expériences dont le principal résultat a été de faire rejeter successivement toutes les explications auxquelles on avait pu d'abord songer : on sait que l'étincelle électrique est incapable de faire exploser directement la dynamite ; si l'étincelle est assez puissante, elle peut tout au plus enflammer la dynamite, qui brûle alors comme si on l'avait allumée, mais ne détone pas ; on sait encore que le voisinage d'une masse de dynamite qui fait explosion peut déterminer la détonation d'une cartouche placée à une certaine distance ; mais cette explosion est la conséquence des vibrations transmises par le sol sur lequel sont placées les deux charges, car la transmission n'a plus lieu si la cartouche est suspendue en l'air, même fort près, et les expériences ont montré que cette distance était toujours fort restreinte ; on l'a exprimée, à la suite de nombreux essais (*), par la formule

$$D = 3{,}00\ C,$$

dans laquelle C exprime en kilogrammes la quantité de dynamite qui fait explosion, et D la distance en mètres à laquelle se trouve la cartouche soumise à l'expérience.

Cette formule devient

$$D = 7{,}00\ C,$$

dans le cas le plus favorable, c'est-à-dire lorsque le sol est remplacé par une barre de fer qui transmet plus facilement les vibrations (*).

Or, dans le cas dont il s'agit, l'explosion produite au fond du puits et dans des trous de mine se faisait à

(*) Ces renseignements résultent d'expériences faites dans les écoles du génie et rapportées dans les tomes XXII et XXIII du *Mémorial de l'officier du génie*.

500 mètres de profondeur ; bien que la détonation fût assez forte, elle était trop éloignée, assurément, pour avoir au jour des effets appréciables ; d'ailleurs, on s'en est assuré en plaçant au bord du puits et même à l'intérieur de petites cartouches de dynamite sur le fil conducteur (après avoir enlevé la gutta-percha), qui aurait pu, mieux encore que le sol, transmettre les vibrations (*) ; ces cartouches n'ont pas bougé alors que l'on faisait partir au fond du puits des décharges semblables à celles du 22 septembre.

Nous avons été amenés à cette conclusion qu'il était indispensable qu'il se trouvât une amorce ou une cartouche amorcée au voisinage de la boîte de dynamite qui avait sauté ; mais tous les témoignages s'accordent à dire qu'il n'y avait aucune amorce sur la boîte de la machine ; il faut en outre admettre qu'un des fils de cette amorce était disposé de façon à recevoir la décharge électrique par suite de son contact, soit avec les fils conducteurs, soit tout au moins avec la boîte elle-même, et de plus que l'autre fil était en contact avec la terre ou quelque corps conducteur : ce grave accident n'a donc, en réalité, reçu jusqu'à présent aucune explication complétement satisfaisante ; cependant, en poursuivant nos recherches dans cette voie, nous sommes arrivés à un résultat qui peut avoir un certain intérêt pratique.

Après avoir chargé la machine de façon à obtenir une étincelle de 8 centimètres, nous avons mis le bouton de la

(*) D'après le *Mémorial du génie*, déjà cité, les vibrations de l'air ne peuvent occasionner à aucune distance l'explosion d'une masse de dynamite. Le fait paraît bien constaté lorsque l'expérience se fait à l'air libre ; mais il ne faudrait point y voir un principe, une règle absolue ; d'autres expériences dues à M. Abel montrent que dans certains cas les vibrations de l'air occasionnées par l'explosion d'une matière fulminante, lorsqu'elles sont recueillies par un miroir concave ou emprisonnées dans un tube, peuvent occasionner, même à une distance assez notable, la détonation d'une cartouche de dynamite.

bouteille de Leyde en rapport sur le devant avec l'enveloppe en bois de la machine ; la personne qui tenait encore à la main la manivelle en bois a reçu une forte commotion au moment où la décharge s'est produite.

Au puits Saint-Amédée de la concession de Montmaillot, de même qu'au puits Saint-Vincent, la personne qui manœuvre l'appareil et fait partir les coups de mine nous a dit qu'elle ressentait fréquemment une secousse dans le poignet qui tenait la manivelle, au moment où de l'autre main elle pressait le bouton.

Dans une des expériences dont nous avons parlé plus haut (note de la page 19), M. Ollier voulut pousser jusqu'à 60 le nombre de tours de rotation de la manivelle, afin d'avoir une charge électrique plus considérable ; mais au cinquante-septième tour il reçut une violente commotion et l'appareil se trouva déchargé, bien qu'il n'eût pas touché le bouton : on conçoit que dans la disposition que nous avons décrite la garniture intérieure métallique de la boîte de la machine Bornhardt se trouvant en contact avec les frottoirs et avec l'armature extérieure de la bouteille, se trouve à un état croissant de tension électrique ; si cette tension dépasse une certaine limite, la décharge peut s'opérer spontanément et ses effets se faire sentir à l'extérieur de l'enveloppe ; peut-être, bien qu'on ne puisse en fournir aucune preuve, serait-ce une cause analogue qui aurait déterminé, le 22 septembre 1878, l'explosion d'une amorce oubliée par mégarde sur la boîte, et, par suite, celle de la provision de dynamite ; en tout cas, ces commotions électriques sont, tout au moins, fort désagréables, et il importe de les éviter ; un nouveau modèle de la machine Bornhardt que nous avons eu sous les yeux y remédie d'une façon fort simple : la garniture métallique intérieure est remplacée par une bonne couche de vernis ; une mince bande de métal met en communication les frottoirs avec l'armature extérieure de la bouteille de Leyde ; de la sorte,

la personne qui tient la manivelle sera tout à fait protégée, et on ne conçoit pas comment une décharge électrique, quelque puissante qu'elle soit, se produisant à l'intérieur, pourrait avoir un effet quelconque à l'extérieur.

Malgré cela, il sera toujours prudent de tenir les amorces et même la dynamite, malgré son insensibilité bien constatée à l'action directe du fluide électrique, à quelque distance de l'appareil; il est trop évident que l'accident du 22 septembre n'aurait pu avoir lieu si la boîte de dynamite s'était trouvée partout ailleurs que sur la caisse de l'appareil électrique.

En résumé, les perfectionnements apportés dans la construction des appareils producteurs de l'électricité, dans la confection des fils conducteurs avec enveloppe isolante, et surtout dans celle des amorces, ont rendu tout à fait pratique l'allumage électrique des coups de mine; ils ont fait disparaître les inconvénients, les difficultés de détail qui avaient entravé le succès des premiers essais tentés à une époque déjà ancienne: lorsqu'on emploie la dynamite, ce précieux auxiliaire des travaux de mine, dont l'emploi est malheureusement restreint en France par un impôt fort lourd, l'allumage électrique diminue le prix de revient du coup de mine; cet avantage, d'ailleurs fort léger, disparaît lorsqu'on travaille à la poudre; mais il est compensé et au delà par la simultanéité de l'explosion des coups de mine qu'on a préparés. On peut revenir immédiatement et en toute sécurité sur les coups de mine; on évite les fumées produites par la combustion des mèches dans l'allumage ordinaire; dans tous les cas, ce procédé supprime une cause trop fréquente d'accidents, en permettant de faire partir les coups de mine alors que les ouvriers mineurs sont éloignés du chantier et même lorsqu'il ne reste personne dans le puits ou dans la mine; c'est là, assurément, une considération des plus importantes, surtout lorsqu'il s'agit d'un fonçage de puits ou d'une mine à grisou.

NOTE A.

Note sur l'emploi des cartouches de poudre comprimée pour le tirage électrique.

La poudre comprimée est livrée sous la forme de petits cylindres de 0m,055 de haut sur 0m,030 de diamètre, percés suivant leur axe d'un trou conique qui a 0m,006 et 0m,012 de diamètre à ses deux extrémités; la cartouche comprend d'ordinaire deux demi-cartouches placées l'une à la suite de l'autre.

Lorsqu'on amorce au moyen d'une étoupille, le mineur double l'*extrémité* de l'étoupille après l'avoir enfilée dans l'axe de la cartouche, ce qui lui permet de retirer au besoin sa cartouche en tirant sur l'étoupille et de maintenir celle-ci pendant le bourrage (*fig.* 6).

Mais lorsqu'il s'agit du tir électrique, on doit nécessairement donner à la cartouche une position inverse (*fig.* 7) : l'amorce s'engage dans la cavité conique; sa tête demeure en saillie; il suffirait d'une légère différence de diamètre, d'une goutte de résine demeurée adhérente à l'extrémité de l'amorce, pour que celle-ci reposât, appuyée par sa base, contre la paroi de la cavité, et le bourrage pourrait occasionner une explosion, en écrasant la poudre fulminante contre cette paroi qui est très-résistante; il en serait de même si l'amorce se posait en travers (*fig.* 8).

C'est probablement à cette cause qu'il faut attribuer l'accident survenu le 1er février 1878 au puits Ségur de la concession de Montchanin; l'ouvrier mineur avait pratiqué dans les grès houillers un coup montant sous une inclinaison de 0m,40 par mètre; il y avait introduit une double cartouche de poudre Davey avec son amorce électrique, puis une bourre de foin et une bourre d'argile; il serrait, à coups de massette, la deuxième bourre d'argile, lorsque le coup de mine éclata à l'improviste et renversa ce mineur en lui occasionnant des blessures graves; il est très-vraisemblable que l'amorce avait glissé au dehors de la cartouche, comme le représente la *fig.* 10, et qu'elle a été écrasée contre le cylindre de poudre comprimée lorsque le mineur a voulu comprimer le bourrage.

Pour éviter cette cause d'accidents, M. Ollier, ingénieur des houillères de Montchanin, fait depuis cette époque préparer sa

poudre comprimée de façon que sur l'une des deux cartouches la cavité soit de forme cylindrique et ait 0m,012 de diamètre sur toute sa hauteur (*fig.* 9); l'amorce y entre tout entière, y est librement suspendue, et se trouve ainsi parfaitement à l'abri de l'action du bourrage et des chocs extérieurs; un léger coin en bois assujettit le ruban contre les parois intérieures de la cartouche et permet au besoin de retirer celle-ci.

EXPLICATION DE LA PLANCHE IV, *fig.* 1 à 11.

MACHINE BORNHARDT A DEUX PLATEAUX ET DEUX BOUTEILLES.

FIG. 1. Élévation latérale :

- A, manivelles servant à actionner les plateaux.

FIG. 2 et 3. Coupe en long et plan :

- BSS', porte fermant la partie intérieure de la boîte où se trouvent les armatures *a* et *b*, auxquelles on accroche les fils conducteurs, et le bouton *m*, sur lequel on presse pour faire partir l'étincelle;
- *pp*, disque isolant en ébonite (caoutchouc durci);
- B, plateau en ébonite;
- *c*, frottoirs garnis de peau de chat;
- *d*, pointes métalliques, protégées par un disque en ébonite et en communication avec l'armature intérieure de la bouteille de Leyde;
- *gh*, baguette en ébonite, oscillant autour du point *g* sous la pression du bouton *m* et établissant la communication entre les deux armatures;
- K, boîtes contenant du charbon.

FIG. 4. Vue de la boîte la porte latérale étant ouverte :

- *ab*, boucles auxquelles on accroche, soit les fils conducteurs, soit les chaînettes métalliques d'essai *ar*, *bs*;
- *ar*, garniture de clous métalliques.

AMORCES ET CARTOUCHES.

FIG. 5 et 11. Amorces électriques pour la dynamite et pour la poudre.

- *a*. Fils de fer réunis par une bande de papier fort goudronné.
- *b*. Réunion de ces fils par torsion avec les fils de cuivre de l'amorce; cette jonction est protégée par une bande de papier de 0m,04 de hauteur.

c. Culot formé d'un mélange de soufre et de verre pilé assujettissant les fils de cuivre.

d. Fils de cuivre engagés dans le culot en soufre.

d'. Interruption du fil de cuivre dans laquelle jaillit l'étincelle.

e. Composition fulminante (poudre au chlorate).

Fig. 5. f. Fulminate de mercure.

g. Capsule en cuivre.

Fig. 11. f. Disque en caoutchouc recouvert d'une petite feuille d'étain.

g. Poix-résine.

Fig. 6, 7, 8 et 9. Différentes positions de l'amorce par rapport aux cartouches de poudre comprimée.

Fig. 10. M, M'. Cartouches de poudre comprimée.

F. Tampon de foin.

B. Première bourre d'argile sur laquelle on avait déjà fait agir la massette.

C. Deuxième bourre de terre grasse.

Chalon, le 8 mai 1879.

NOTE

SUR

LES ESSAIS DE POSE DE LA VOIE HILF, FAITS EN BELGIQUE, A L'ADMINISTRATION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT;

Par M. A. BERNARD, ancien élève de l'École des mines,
Ingénieur de la voie au chemin de fer du Nord.

Depuis quelques années on a posé en Allemagne des longueurs considérables de voies entièrement métalliques, du système Hilf. Encouragé par cet exemple, et dans le but de venir en aide à l'industrie métallurgique, l'administration des chemins de fer de l'État belge s'est décidée, elle-même, à essayer ce système. Elle a fait poser, en 1877 et en 1878, 120 kilomètres environ de voie Hilf. Les sections choisies pour la pose font partie des lignes de Bruxelles à Tubize, de Hal à Ath, de Bruxelles à Luttre, de Braine à Quiévrain, de Charleroi à Namur, de Bruxelles à Arlon, de Tirlemont à Ans, d'Angleur à Marloie.

La pose a été faite dans les conditions suivantes : Les longrines qui portent les rails, et les rails eux-mêmes, ont une longueur de 9 mètres. Dans la voie ordinaire Hilf, et suivant les indications de l'inventeur même, on emploie des rails d'acier de 25 kilogrammes au mètre courant; l'État a cru nécessaire d'élever ce poids à 29 kilogrammes. Les rails sont attachés sur les longrines au moyen de crapauds et de boulons, dont la tête est en bas et l'écrou à la partie supérieure. Aux joints, les longrines reposent sur une traverse infléchie suivant sa longueur, de façon à donner l'inclinaison de $\frac{1}{20}$. Les deux rails, au milieu de leur longueur, sont entretoisés par un fer rond qui les traverse. On trouvera ci-joint une planche indiquant les détails de la pose.

M. Couche, dans son ouvrage sur les chemins de fer, a déjà décrit ce système de voie en 1868. Mais, à cette époque, l'inventeur fixait le rail sur les longrines au moyen de rivets; il n'y avait pas de traverse aux joints, et les deux files étaient entretoisées par des fers d'angle, boulonnés sur les longrines, trop bas, suivant M. Couche, pour maintenir l'inclinaison. C'est sans doute cette défectuosité qui a fait ensuite admettre la traverse aux joints.

La pose de la voie Hilf exige, suivant l'inventeur, l'emploi d'un ballast spécial, composé d'une première couche inférieure de pierres cassées, formant un fond très-perméable, et d'une couche supérieure en gravier, destinée à recevoir la longrine, à en prendre la forme et à lui donner un point d'appui d'une grande stabilité, après le tassement. En Belgique, on a donné au nouveau ballast la forme indiquée par le profil tracé sur la planche ci-jointe (*fig.* 17). On a toujours employé, pour la couche inférieure, des pierres cassées à l'anneau de 0,06. Pour la couche supérieure, on a employé, sur certains points, du gravier qui s'est trouvé trop terreux, et n'a pas donné un bon résultat comme assèchement. On emploie maintenant exclusivement, pour cette dernière couche, la pierre cassée à l'anneau de 0,03.

Suivant M. Hilf, la longrine et son rail, tout montés, doivent être apportés sur un wagon supportant une grue au moyen de laquelle on fait la mise en place. On essaya d'abord ce système, en modifiant légèrement la grue de l'inventeur; mais on l'abandonna bientôt, pour faire simplement la pose à bras d'homme. Deux systèmes de pose ont été employés : dans l'un, on enlevait d'un seul coup la voie actuelle ancienne et le ballast, on mettait en place le ballast nouveau, puis la nouvelle voie; dans l'autre système, on commençait par remplacer l'ancien ballast sous la voie ancienne, et, le travail fait, on enlevait cette dernière, et on lui substituait la voie Hilf. Ce dernier procédé paraît avoir donné de meilleurs résultats que le premier; le travail

allait plus rapidement, et une brigade de 140 hommes pouvait mettre en place 1.500 mètres de voie par jour, dans l'intervalle des trains, en supposant les longrines et les rails tout montés et échelonnés le long de la voie.

Voici les résultats que donne, à ce jour, l'observation de ces voies :

Elles paraissent se déformer rapidement, en plan et en profil. En plan, le maintien latéral, au moyen des nervures de la longrine, paraît insuffisant; et, surtout dans les courbes de petits rayons, la voie tend à s'éloigner du centre de la courbe. Les joints paraissent en général des points faibles, et cela pour une raison facile à expliquer : le rail est arrêté dans sa marche en avant, suivant la direction des trains, par l'éclisse qui vient porter sur le double crapaud, posé à l'intérieur de la voie, près du joint, sur la longrine; mais rien n'arrête la longrine sur la traverse, de sorte que rail et longrine chevauchent ensemble sur la traverse; et, tous les mois ou tous les deux mois, il faut déblayer le ballast autour de la traverse et la riper pour la ramener à joint; opération qui, évidemment, la rend instable et doit créer des points faibles aux joints. On n'a employé aucun moyen pour empêcher cette marche en avant. Il me semble cependant qu'on aurait pu essayer d'arrêter la longrine sur la traverse au moyen d'un coin d'arrêt. Les ouvriers, dans tous les chantiers, sans être guidés sur ce point, sont arrivés à employer instinctivement des cales en bois placées aux joints de chaque rail. Ces cales arrêtant les rails, il en résulte que le mouvement en avant de la longrine est beaucoup moins rapide. Mais ce moyen est évidemment aussi défectueux qu'insuffisant.

Sur aucun chantier on ne graisse les boulons fixant les crapauds de retenue des rails sur les longrines. Il est vrai que l'on ne graisse pas davantage les boulons d'éclisses; et cependant la pratique a démontré d'une façon certaine que ce graissage est utile au serrage et à la conservation des

boulons. Aussi voit-on déjà beaucoup de boulons rouillés, difficiles à serrer maintenant; beaucoup doivent déjà être remplacés, et, pour la visite seule de ces boulons, deux hommes suffisent à peine pour une brigade de 4 kilomètres de voie double, lorsqu'un homme suffit facilement pour une même longueur de voie Vignole ordinaire; et il est évident que la difficulté ira en croissant.

Il est intéressant de comparer les prix de pose et d'entretien de la voie Hill avec les prix de pose et d'entretien de la voie Vignole acier, 38 kilogrammes, sur traverses en bois, employée par l'État. Le tableau suivant donne un devis comparatif du prix du mètre courant de chaque espèce de voie (matériaux seuls).

Prix d'un mètre courant de voie avec superstructure en fer (*système Hilf*), d'après les prix de l'adjudication du 20 septembre et du 25 octobre 1876.— Adjudication des longrines : Société de la Providence.

NOMBRE de pièces.	DÉSIGNATION.	POIDS total.	PRIX par 100 kil.	TOTAL pour une longueur de rail de 9 mètres	TOTAL par mètre courant de voie.
	Une longueur de voie de 9 mètres exige :	kilo.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
2	Rails en acier Bessemer. .	461,4	17,97	83,45	
2	Longrines de 8^m,96.	526,3	16,30	86,84	
1	Traverse de 2^m,60.	76,4	16,50	12,60	
1	Entretoise avec accessoires.	7,8	30,40	2,37	
2	Paires d'éclisses avec boulons	pièce.	1,80	3,60	
»	Boulons d'attache, etc. . .	32,2	31,40	10,14	
	Soit pour 9 mètres de voie.	. . . .	. . . . .	199,00	
	— 1 —	. . . .	. . . . .	. . . . . .	22,11

Prix d'un mètre courant de voie ordinaire. Billes en chêne créosoté et rails en acier.

NOMBRE de pièces.	DÉSIGNATION.	POIDS total.	PRIX par 100 kil.	TOTAL pour une longueur de rail de 6 mètres.	TOTAL par mètre courant de voie.
	Une longueur de voie de 6 mètres exige :	kilog.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
2	Rails en acier Bessemer à 38,04 par mètre courant	456,48	17,97	82,02	
7	Billes.	pièce.	6,17	43,19	
2	Paires d'éclisses complètes.	»	2,57	5,14	
2	Plaques.	»	0,40	0,80	
32	Boulons.	»	0,11	3 52	
	Soit pour 6 mètres de voie.	. . . .	. . . . .	134,67	
	— —	. . . .	. . . . .	. . . . .	22,44

On le voit, il y a peu de différence entre les prix de revient du mètre courant de voie des deux systèmes, même en mettant sur la longrine, comme l'a fait l'État, un rail de 29 kilogrammes, mais les prix de pose sont bien différents.

La substitution d'une voie acier, en 38 kilogrammes, sur traverses, à une ancienne voie, peut s'évaluer comme suit, au mètre courant de voie simple :

	francs.
Dégarnissage du ballast.	0,40
Enlèvement de l'ancienne voie.	0,25
Règlement de la plate-forme de pose.	0,15
Pose de la nouvelle voie.	0,50
Remise en place et règlement du ballast.	0,25
Prix du mètre courant de substitution de voie ordinaire.	1,55

Le prix du mètre courant de pose de voie Hilf peut s'estimer comme suit :

	francs.
Enlèvement de l'ancien ballast	0,40
Concassage, transport à une distance moyenne de 10 kilomètres, et déchargement des pierrailles.	2,10
Achat, transport à une distance moyenne de 20 kilomètres, et déchargement du gravier.	2,90
Mise en place du lit de pierrailles.	1,30
Mise en place de la couche de gravier.	0,35
Ajustage des longrines en chantier.	0,23
Transport du matériel du chantier à pied d'œuvre.	0,12
Démontage de l'ancienne voie et pose de la voie métallique.	0,50
Parachèvement du dressage et du bourrage de la nouvelle voie.	0,40
Faux frais divers et imprévus.	0,02
Prix du mètre courant de pose de voie Hilf. .	8,32

Le prix de pose de la voie du système Hilf est donc considérablement plus élevé que celui de la voie Vignole sur traverses. Ce système présente, en outre, des inconvénients graves dans les remplacements. Les pièces à manœuvrer

sont lourdes, et, toutes les longrines étant droites et ne s'appropriant aux courbes de différents rayons que par la position relative des trous des boulons qui fixent le rail, on doit avoir, en approvisionnement, un nombre considérable de longrines pour toutes les espèces de courbes.

Pour faire passer sur tous ces inconvénients, il faudrait évidemment que l'entretien courant fût réduit d'une façon notable, mais il n'en est rien; au contraire, il n'est pas douteux que, jusqu'à ce jour, l'entretien des voies *Hilf* posées comme essai, en Belgique, n'ait coûté beaucoup plus cher que l'entretien de la voie Vignole ordinaire. Ainsi on peut estimer à 0f,80 au mètre courant le prix de main-d'œuvre d'entretien de cette dernière voie, et les évaluations les plus basses pour le prix de main-d'œuvre du mètre courant de voie Hilf donne 1f,90, et ce prix est monté, dans certains cas, jusqu'à 5f,25.

On le voit, la défiance que, dès 1868, M. Couche montrait contre ce système de voie est parfaitement justifiée, et il est encore à craindre que l'entretien n'aille en grandissant avec l'âge des points d'attache, dont le maintien en bon état est extrêmement difficile.

EXPLICATION DE LA PLANCHE IV, *fig.* 12 à 14.

Fig. 12. — Profil de la longrine et de la traverse (échelle de 0m,40 pour 1 mètre).
Fig. 13. — Coupe d'un rail-longrine avec assemblage de la longrine et de la traverse (échelle de 0m,20 pour 1 mètre).
Fig. 14. — Joint aux abouts (même échelle).
Fig. 15. — Plan de la voie.
Fig. 16. — Coupe transversale de la voie.
Fig. 17. — Coupe transversale du ballast.

NOTICE NÉCROLOGIQUE
SUR
EDMOND BOUR,
INGÉNIEUR DES MINES,

Par M. RÉSAL, ingénieur en chef des mines, membre de l'Académie des sciences.

Bour (Jacques-Edmond-Émile) est né à Gray (Haute-Saône), le 19 mai 1832. Son père, après avoir fait des études complètes, avait repris, conformément à une tradition francomtoise qui tend de plus en plus à disparaître, tout naturellement et sans répugnance l'établissement d'horlogerie que lui avait légué sa famille. C'était un homme très-distingué, qui recevait continuellement les visites des savants et industriels de la région grayloise. Son fils sortit du collége de sa ville natale, avec le grade de bachelier ès lettres. Après une année de mathématiques spéciales au lycée de Dijon, il fut reçu, en 1850, le 64e à l'École polytechnique, où l'on n'avait admis que 90 élèves; il prit immédiatement le premier rang et le conserva jusqu'à sa sortie.

Dès cette époque, il était l'auteur d'un travail important sur l'électro-dynamique, dont malheureusement on n'a retrouvé aucune trace; l'illustre de Sénarmont, qui en avait pris connaissance, m'en avait fait le plus grand éloge, mais je ne pus jamais décider Bour à publier ce travail.

Nommé élève-ingénieur des mines le 15 novembre 1852, Bour fut promu, le 14 juillet 1855, au grade d'ingénieur ordinaire de 3e classe, et envoyé à l'École des mineurs de Saint-Étienne, comme professeur d'exploitation des mines et de mécanique. Le 3 décembre de cette même année, il soutint brillamment ses thèses pour le doctorat ès sciences mathématiques, devant la Faculté de Paris. Le 5 novembre

1857, il était nommé ingénieur ordinaire de 2ᵉ classe, puis il devenait successivement (1859) répétiteur du cours de géométrie descriptive à l'École polytechnique et (1860) professeur de l'un des cours préparatoires de l'École des mines. Le 2 mars 1861, il prit possession de l'une des deux chaires de mécanique de l'École polytechnique, qu'il conserva jusqu'à sa mort prématurée (8 mars 1866); il n'avait pas encore 34 ans. La croix de la Légion d'honneur était venue le trouver sur son lit de mourant; cette distinction, à laquelle il avait été très-sensible, parut adoucir ses dernières souffrances.

Je n'ai commencé à connaître Bour que lorsque j'étais sur le point de sortir de l'École des mines; il passait, parmi ses camarades de promotion, pour avoir une constitution débile, ce que ne justifiait pas son extérieur. La maladie qui l'a tué n'a pas été bien définie; elle a été développée par un excès de travail et aussi par les fatigues des deux grands voyages scientifiques qu'il fit, l'un en Algérie dans le but d'observer l'éclipse du 18 juillet 1860, l'autre en Asie-Mineure, pendant l'été de 1863, pour se livrer à des explorations géologiques.

J'arrive maintenant aux découvertes dont Bour a enrichi la science.

Étant encore élève-ingénieur, il soumit à l'Académie des sciences (séance du 5 mars 1855) un mémoire sur *l'intégration des équations différentielles de la mécanique analytique*. L'illustre M. Liouville, rapporteur de la commission chargée d'examiner ce travail, termine ainsi son rapport: « Les géomètres liront avec intérêt le mémoire de M. Bour. C'est dans les excellentes leçons de M. Bertrand que M. Bour a surtout puisé les idées premières de son travail; l'élève s'est montré digne du maître. Nous proposons à l'Académie d'approuver le mémoire de M. Bour et d'en ordonner l'insertion dans le recueil des savants étrangers.» Le mémoire parut à la fois dans le tome XIV de ce recueil

et dans le tome XX du *Journal de mathématiques pures et appliquées.*

L'auteur commence par y établir, en complétant un théorème de M. Bertrand, que l'on peut arriver, de proche en proche, à mettre la solution complète d'un problème de mécanique sous la forme canonique de deux séries d'intégrales conjuguées deux à deux, telles que l'une quelconque d'entre elles, combinée avec toutes les autres pour former la fonction de Poisson, donne l'unité avec sa conjuguée et zéro avec tout le reste. Il démontre ensuite, et c'est là la partie essentielle de son mémoire, que la connaissance d'une intégrale quelconque permet d'abaisser de deux unités l'ordre de l'équation aux différentielles partielles du problème, sans toutefois servir à réduire de nouveau l'ordre de l'équation transformée, à laquelle cette intégrale devient étrangère. Cette ressource épuisée, Bour, remarquant que l'équation réduite obtenue admet des intégrales étrangères à la question, montre que, si l'on connaît l'une de celles-ci, on peut souvent abaisser l'ordre de cette équation réduite, en divisant les intégrales inconnues en plusieurs groupes donnés par des équations distinctes, ce qui est bien dans la nature des problèmes ordinaires de mécanique.

Depuis 1837, le monde savant attendait avec impatience l'apparition d'un important ouvrage annoncé par l'illustre Jacobi sur la mécanique analytique. « La publication posthume de ce travail, dit Bour lui-même, vient de commencer dans le *Journal de Crelle*, par les soins de M. Clebsch, et c'est avec une bien vive satisfaction qu'en tenant compte de la différence entre le couronnement de l'œuvre d'un maître et l'œuvre incertaine d'un élève, j'ai retrouvé, dans la nouvelle méthode de Jacobi, l'identité la plus parfaite avec celle que j'ai eu l'honneur de soumettre à l'Académie des sciences, dans la séance du 5 mars 1855. » Bour n'avait pas alors atteint sa vingt-troisième année !

La première des deux thèses qu'il a soutenues à la Sorbonne est relative au célèbre problème dit *des trois corps*. Quelque temps auparavant, Jacobi, après avoir fait remarquer que l'on pouvait considérer l'un des corps comme fixe, avait donné les équations du mouvement des deux autres, sous une forme qui paraît n'avoir rien de commun avec celle sous laquelle se présentent d'ordinaire les équations de la mécanique analytique. Bour, en appliquant les règles indiquées dans le mémoire de Jacobi, fit plus : il parvint à réduire le cas général à celui du mouvement dans un plan, et à ramener les équations du problème, ainsi simplifiées, à la forme canonique. Son travail se résume dans ce théorème remarquable :

Pour intégrer le problème des trois corps dans le cas le plus général, il suffit de résoudre le cas où le mouvement a lieu dans un plan et d'avoir ensuite recours à une fonction perturbatrice, égale au produit d'une constante dépendant des aires, par la somme des moments d'inertie des corps autour d'un certain axe, divisé par le carré du triangle formé par les trois corps.

Dans sa seconde thèse, Bour fait une étude sur « *l'attraction qu'exercerait une planète, si l'on supposait la masse répartie sur chaque élément de son orbite proportionnellement au temps employé à la parcourir*. La solution de ce problème, dont Gauss a eu la première idée, en vue de la théorie des perturbations, reçut, de la part de Bour, tous es développements qu'elle comportait.

Quelque temps après, Bour reçut de l'illustre Biot une preuve particulière d'estime, avec une lettre des plus flatteuses dont j'extrais le passage suivant : « Cette précieuse collection des mémoires de Lagrange tire son origine de d'Alembert; il les composait avec des exemplaires que Lagrange lui envoyait de Berlin. Il en fit présent à Condorcet, sous la condition de la transmettre à quelque jeune homme laborieux, quand elle ne lui serait plus nécessaire.

Elle est venue successivement, sous la même condition, de Condorcet à Lacroix, de Lacroix à M. Biot, avec addition de plusieurs autres pièces. M. Biot la donna à J. Binet. Binet n'en ayant pas disposé de son vivant, elle rentra dans les mains de M. Biot, qui la transmit, sous les mêmes conditions à M. Bour, comme un témoignage d'estime pour son zèle et ses beaux travaux mathématiques par lesquels il s'est annoncé aux amis des sciences. »

Le collègue et ami dévoué de Bour, M. Mannheim, reçut à son tour ce précieux dépôt, et le transmit à l'Académie des sciences, qui décida qu'elle décernerait cette récompense à un jeune savant, chargé lui-même d'en disposer ensuite suivant les intentions du premier fondateur.

« Persévérez invinciblement, écrivait Biot à son jeune protégé, dans la voie où vous avez déjà commencé à marcher avec tant de succès... Si vous poursuivez votre carrière scientifique avec le même courage que vous y avez porté d'abord, chaque nouveau pas que vous y ferez sera pour vous un accroissement d'honneur. »

Le 25 février 1856, Bour présente à l'Académie des sciences un *mémoire sur les mouvements relatifs*.

Le 5 janvier 1857, il lui soumet un autre mémoire *sur la résolution des équations numériques du troisième degré au moyen de la règle à calcul*.

Enfin il aborde l'étude *des surfaces qui peuvent s'appliquer les unes sur les autres sans déchirure ni duplicature*, question proposée par l'Académie des sciences pour le grand prix de mathématiques en 1861, qui lui fut décerné. A ce sujet, le rapporteur, M. Bertrand (séance du 25 mars 1861), s'exprime ainsi : « M. Bour ne s'est proposé rien de moins que l'intégration complète des équations du problème dans le cas où la surface donnée est de révolution. Les méthodes ordinaires du calcul intégral ne semblent pas ici applicables ; il a mis à profit une indication rapide, jetée comme en passant par Lagrange dans un de ses mé-

moires, et dans l'application de laquelle l'illustre géomètre signalait lui-même de graves difficultés. Cette méthode consiste d'abord à former une solution complète de l'équation différentielle du second ordre, dans laquelle figurent cinq constantes arbitraires et à en déduire la solution générale par la variation de ces constantes. Les difficultés que Lagrange avait aperçues et signalées ont été très-habilement et très-heureusement surmontées dans le mémoire n° 1. La commission espère que le savant auteur généralisera sa belle analyse et que le calcul intégral recevra par là un perfectionnement notable. Il sera juste de rapporter à Lagrange la gloire d'avoir ouvert cette voie nouvelle; mais le concours actuel occupera néanmoins une place dans l'histoire de son développement. En résumé, la commission accorde le prix de mathématiques au mémoire inscrit sous le n° 1, ayant pour devise : *Je plie et ne romps point*, dont l'auteur est M. Bour, professeur à l'École polytechnique.

Ce remarquable travail a été inséré au XXXIX° cahier du *Journal de l'École polytechnique*, après avoir cependant subi quelques modifications. Ainsi l'auteur y a séparé, de ses considérations purement géométriques, les recherches analytiques auxquelles elles l'ont conduit, recherches relatives à l'intégration de certaines équations différentielles partielles du premier et du second ordre.

Dans sa *Théorie de la déformation des surfaces*, le problème une fois mis en équation dans les termes les plus généraux, Bour en recherche la solution par trois méthodes distinctes.

La première, essentiellement analytique, conduit, par l'emploi des *coordonnées symétriques*, à une équation différentielle dont l'intégration se simplifie dans certains cas.

Dans sa deuxième méthode, basée sur l'emploi des *coordonnées géodésiques*, l'auteur parvient à dégager d'un assez grand nombre de relations secondaires celles qu'il nomme *équations fondamentales*, et d'où il déduit toute la théorie

des surfaces. Après avoir interprété géométriquement les fonctions qu'elles renferment, Bour déduit de ses équations fondamentales le théorème de Gauss sur la constance du produit des courbures principales en chaque point des surfaces qui se déforment, les conditions pour que les surfaces réglées puissent s'appliquer sur l'ellipsoïde de révolution, l'hyperboloïde à une nappe, et enfin ce remarquable théorème : *l'hélicoïde gauche est applicable sur une surface de révolution.*

Nous ne ferons que mentionner la troisième méthode, quelque peu bizarre, comme le reconnaît Bour lui-même, et qui n'est pour ainsi dire justifiée que par les résultats inattendus auxquels elle conduit.

Dans les séances de l'Académie des sciences des 17 février, 10 et 17 mars 1862, Bour donne une analyse de son *Mémoire sur l'intégration des équations partielles du premier et du second ordre*, mémoire qui fait suite au précédent et se trouve, comme celui-ci, inséré au XXXIXe cahier du *Journal de l'École polytechnique.*

Après avoir exposé l'état de la question, il rappelle le théorème fondamental qu'il avait démontré antérieurement dans son mémoire inséré au tome XIV du *Recueil des savants étrangers* et en déduit une nouvelle méthode d'abaissement des équations différentielles de la dynamique. Arrivant ensuite aux équations du premier ordre, il applique sa méthode à *l'intégration des équations différentielles de la ligne géodésique sur une surface quelconque*, problème dont il avait annoncé la solution comme second appendice au mémoire sur la déformation sur les surfaces. Il termine par diverses considérations sur l'intégration des équations du second ordre.

A ce sujet, M. Liouville (séance du 10 mars 1862) s'exprime ainsi : « ...Dans les pages peu nombreuses insérées aux *Comptes rendus*, chaque mot est une idée. J'ai donc eu le bonheur de voir M. Bour répondre entièrement à ce que

j'annonçais de lui, comme rapporteur d'un premier travail présenté à l'Académie en 1855. Désormais M. Bour a son rang fixé près des maîtres. Il ne s'agit plus d'un jeune homme donnant des espérances, mais d'un grand géomètre qui a tenu les promesses brillantes de sa jeunesse. »

Le dernier mémoire de Bour, inséré au *Journal de mathématiques pures et appliquées* (2ᵉ série, t. VIII, 1863), se rapporte au mouvement relatif dont il arrive à mettre les équations sous la forme canonique ; la question se trouve ainsi ramenée, au point de vue de l'intégration, à celle du mouvement absolu. C'est un nouveau chapitre ajouté à la mécanique analytique. Bour applique d'abord sa théorie à un système de points matériels libres, puis à un système à liaisons. Enfin il fait usage de sa méthode d'intégration, dont il a été question plus haut, pour résoudre quelques problèmes, savoir : *du mouvement apparent des projectiles, abstraction faite de la résistance de l'air ; du mouvement d'un corps de révolution, puis de forme quelconque, dont le centre de gravité est relativement fixe.*

Bour a communiqué à la Société philomatique plusieurs notes intéressantes sur *la composition des rotations*, sur les cônes circulaires roulants.

Bour n'a pu surveiller lui-même que la publication de la première partie de son cours de mécanique à l'École polytechnique, la *Cinématique*. Ce volume, accompagné d'un atlas, est précédé d'un discours qui est un chef-d'œuvre de logique et d'érudition.

La seconde partie (*Statique, travail des forces dans les machines à l'état de mouvement uniforme*) et la troisième partie (*Dynamique et hydraulique*) ont été publiées par les soins de MM. Phillips, Mannheim, Kretz et Collignon. Par leur admirable dévouement dans l'accomplissement de la tâche pieuse qu'ils s'étaient imposée, ils ont prouvé que la véritable amitié ne s'arrête point au bord de la tombe.

NOTE

SUR

UN GITE DE PHOSPHATE DE CHAUX SITUÉ PRÈS DE CETTE

Par M. WICKERSHEIMER, ingénieur des mines.

Des gîtes de phosphate de chaux ont été découverts récemment dans le département de l'Hérault et dans le voisinage immédiat de la ville de Cette.

L'auteur de cette découverte, M. Jaille, est un des principaux exploitants des phosphates du Quercy, avec lesquels ceux de Cette offrent beaucoup d'analogies sous le rapport du gisement, ainsi que de la nature minéralogique.

La montagne de Cette, au flanc de laquelle se trouvent adossés la ville et le port, forme une presqu'île reliée à la terre ferme par un cordon littoral très-étroit. Elle est constituée presque entièrement par des calcaires jurassiques dont les strates présentent dans leur ensemble une faible inclinaison vers l'ouest.

Cette formation, pauvre en fossiles, ne paraît pas encore susceptible d'être classée d'une façon précise dans la série géologique. M. de Rouville, auteur d'une carte géologique récente du département de l'Hérault, la désigne sous le nom de *calcaire oxfordien* et *dolomie oxfordienne;* il annonce du reste lui-même que cette désignation n'est pas définitive (*).

Il semble au premier abord que la dolomie forme un étage inférieur recouvert par du calcaire nettement stratifié, comme il a été dit plus haut. Mais on reconnaît bientôt qu'il y a des masses dolomitiques superposées au cal-

(*) *Introduction à la description géologique du département de l'Hérault.* — Montpellier, 1876.

caire; d'autres fois elles forment des espèces de noyaux dont les dimensions peuvent être très-considérables, qui interrompent le calcaire stratifié régulièrement de part et d'autre. La dolomie est d'un gris terne, généralement foncé, quelquefois argileuse, d'autres fois sableuse d'aspect, et fréquemment injectée d'oxyde de fer très-rouge, fortement alumineux, et rappelant la bauxite qu'on connaît dans un gisement analogue, sur un autre point du département, près de Villeveyrac. Enfin, dans certaines parties depuis longtemps exposées à l'air, la dolomie, plus ou moins désagrégée par les éléments atmosphériques, prend un aspect tuffacé.

Le calcaire se distingue à première vue de la dolomie. J'ai déjà dit qu'il est très-nettement et très-régulièrement stratifié. Beaucoup plus tenace que la dolomie, il est esquilleux et de couleur gris-jaunâtre dans les cassures fraîches, bleuâtre dans les cassures anciennes.

Les massifs dolomitiques sont souvent fissurés dans le passage au calcaire, et ces fissures sont fréquemment remplies par de l'aragonite ou par du phosphate de chaux. La présence de l'aragonite en masses importantes est l'indice d'une pauvreté relative en phosphate.

Le phosphate de chaux a dû être primitivement fort abondant sur le versant méridional de la montagne de Cette, celui qui regarde et touche la mer. Actuellement le flanc de cette montagne est criblé d'excavations considérables, dont quelques-unes remontent probablement à des siècles. Ce sont toutes d'anciennes carrières où, avec le temps, il s'est déposé une faible couche de terre mêlée de débris de roches. Elles sont utilisées aujourd'hui comme cimetières ou comme jardins. Sur leurs parois on trouve çà et là, soit des filets de phosphate de chaux, soit, plus souvent, des placages minces de cette substance. Les crevasses en sont généralement garnies, et souvent c'est l'aragonite qui y remplace le phosphate. En examinant les

lieux, on est porté à penser qu'il a été extrait de ces cavités des masses considérables de phosphate mêlé de calcaire, soit comme pierre de construction, soit pour les fondations des jetées du port.

Le massif principal de phosphate, actuellement visible dans une excavation ancienne, se trouve à une faible distance et au-dessus d'une batterie côtière de construction récente. On en a extrait une centaine de tonnes environ ; il n'en reste plus que quelques centaines à extraire, à moins que l'on ne vienne à trouver une prolongation du gîte en profondeur. Jusqu'ici il semble que cette poche de phosphate, ainsi que toutes celles de moindre importance qui se trouvent dans le voisinage, présente son plus grand épanouissement à la surface, et se termine en pointe à une faible profondeur.

Outre le gîte principal dont il vient d'être question, il y en a, dans la même montagne, un autre qu'on peut songer à exploiter, et qui se trouve à environ 2 kilomètres plus à l'ouest, également près de la mer; mais il ne paraît pas bien important.

Un autre explorateur exploite en ce moment un gîte très-pauvre de l'autre côté de l'étang de Thau, entre Frontignan et la montagne de la Gardéole. Ce dernier forme des espèces de filons étroits dans le calcaire oxfordien.

D'après ce que l'on voit, je suis porté à inférer que le remplissage par le phosphate de chaux des cassures irrégulières du calcaire s'est fait de haut en bas, ce qui donnerait peu d'espoir de le trouver en profondeur.

Ajoutons quelques détails minéralogiques. Le phosphate de Cette est généralement massif, assez dense, et disposé en couches concentriques affectant souvent la forme rubanée. Il est d'un blanc jaunâtre mat, avec linéaments alternativement blancs ou couleur chamois, plus rarement noirs. Quelquefois on y trouve des noyaux en calcite cristallisée, ou bien le centre forme une petite géode de cette sub-

stance; mais, le plus souvent, le noyau est compacte. En polissant une section, on y voit des zones comme dans l'agate. Le phosphate prend un aspect très-différent au contact du calcaire pur ou de la dolomie. Dans le premier cas, la transition est brusque, et le minéral conserve l'aspect physique que nous avons décrit. Dans le second, au contraire, la transition est insensible du phosphate pur à la dolomie; mais, dans le voisinage, le phosphate a pris un aspect blanc terne et est devenu très-compacte; aussi sa densité est-elle plus grande. Le phosphate terreux fait à peu près défaut et ne se trouve que rarement sur les parois des cavités qui comprennent le gisement. La teneur varie de 40 p. 100 de phosphate tribasique pour les parties terreuses, à 70 p. 100 pour les parties compactes. Ce sont les teneurs élevées qui dominent.

Il est intéressant de considérer l'aspect physique de l'aragonite, comparativement au phosphate voisin. On y retrouve généralement le même aspect zoné, et à première vue on peut être tenté de confondre les deux substances. Néanmoins, avec un peu d'habitude, on voit que l'aragonite, lorsque la cassure n'est pas fraîche, est d'aspect plus terreux. Lorsque la cassure est fraîche, au contraire, l'erreur n'est plus possible : elle a généralement l'aspect saccharoïde, tout en étant zonée comme le phosphate ou formée d'agrégats de cristaux radiés ou bacillaires. L'aragonite forme quelquefois ici des masses assez importantes. Enfin, il est bon d'ajouter que, dans certains cas, elle est intimement mélangée au phosphate, et alors une analyse chimique est nécessaire pour lever les doutes. Une substance qui contiendrait moins de 40 p. 100 de phosphate tribasique ne pourrait être exploitée utilement.

En somme, le gisement de phosphate de chaux de Cette est intéressant en lui-même, surtout en raison de la pureté de la substance, mais ne paraît pas, quant à présent, susceptible d'un avenir industriel important.

Espérons que des recherches entreprises dans l'étage oxfordien, sur d'autres points du département, amèneront la découverte de gîtes plus importants.

Carcassonne, février 1879.

Depuis que les lignes précédentes ont été écrites, M. Baille a continué ses recherches. Elles ont montré que le gisement se poursuit vers l'Ouest et peut, par conséquent, présenter encore un certain avenir dans cette direction.

En tous les points où l'on a atteint une profondeur de 8 mètres au-dessous du sol, le phosphate s'est perdu, limité par une cavité remplie de stalactites. C'est là un fait digne de remarque et qui peut jeter quelque jour sur l'origine du gisement.

La totalité extraite jusqu'à ce jour (octobre 1879) s'élève à 520 tonnes.

Origine du phosphate de chaux. — Nous avons supposé plus haut que la formation du phosphate de Cette était due à des actions superficielles. Comme les géologues éminents qui ont étudié les phosphates de Quercy sont arrivés à une autre conclusion, il nous paraît nécessaire d'essayer de justifier notre hypothèse.

D'abord, les conditions de gisement ne sont plus ici les mêmes. Dans le Quercy les phosphates sont en relation avec des formations tertiaires qui font absolument défaut à Cette. Cette absence d'analogie rend déjà notre thèse soutenable.

Ensuite, et c'est là le point important, les faits paraissent absolument contraires à une formation de bas en haut. Nous rappellerons la parfaite continuité des strates jurassiques dans lesquelles la dolomie et le phosphate se sont partiellement substitués au carbonate de chaux, l'absence totale de faille qui ait pu servir de chemin aux dissolutions minérales venues de la profondeur.

En outre, dans les anciennes excavations sur les parois

desquelles on a trouvé des traces de phosphate, on n'a jamais rencontré cette substance en profondeur.

En raison de la connexité entre la dolomie et le phosphate de chaux, il devient probable que le phosphore a été amené sous la forme de dissolution de phosphate de magnésie, lequel, en présence du carbonate de chaux, a produit du phosphate de chaux et du carbonate de magnésie (*). Dans cette hypothèse, il se serait produit un départ des deux sels résultant de la double décomposition, sans que les strates du calcaire eussent été dérangées.

La transition insensible de la dolomie au phosphate et la disparition des plans de stratification dans la dolomie s'expliqueraient par l'hypothèse que les couches métamorphisées n'avaient pas encore une grande consistance lors de l'apparition du phénomène chimique qui les a modifiées.

Les sources de phosphate d'alumine auraient rongé par place le calcaire encore mou, qui aurait ainsi formé une bouillie, état favorable à la double décomposition et à la séparation du phosphate et de la dolomie.

Il faut admettre, en outre, que l'action chimique n'a pas interrompu le phénomène général de sédimentation. Nous n'avons pas la prétention de donner cette théorie comme certaine; mais, en se basant sur les faits exposés plus haut, on ne saurait lui refuser un certain degré de probabilité.

---

(1) La solubilité du phosphate de magnésie, à froid, est de près de 1 p. 100.

INFLUENCE DES PENTES

SUR

LE RIX DE REVIENT KILOMÉTRIQUE D'UNE TONNE DE MARCHANDISES DE PETITE VITESSE

Par M. AMIOT, ingénieur des mines, attaché à la direction de l'exploitation de la compagnie P.-L.-M.

1. — La direction de l'exploitation de la compagnie P.-L.-M. a essayé de déterminer quel a été, en 1877, le prix de revient kilométrique d'une tonne de marchandises sur les diverses sections du réseau, et dans quelle mesure ce prix de revient a été affecté par les divers éléments qui influent sur les dépenses de chaque ligne. Ces questions ont par elles-mêmes une importance sur laquelle il est inutile d'insister; en outre, elles appellent spécialement l'attention à un moment où un grand nombre de lignes nouvelles sont en construction ou à l'étude. On a donc pensé qu'il y aurait quelque intérêt à exposer ici d'une façon sommaire la marche que l'on a suivie dans ces recherches et les conclusions auxquelles on a été conduit (*).

2. — Pour arriver à des résultats que l'on puisse comparer entre eux avec quelque sécurité, on a dû ne pas tenir compte d'un certain nombre de lignes trop courtes ou à trop faible trafic; ces lignes donneraient des chiffres sans intérêt et auxquels aucune loi ne pourrait s'appliquer. On a ainsi éliminé de tous les calculs 5 lignes de moins de 10 kilomètres de longueur, et 7 lignes de plus de 10 kilo-

(*) Tout le travail a été fait sous la direction de M. Noblemaire, ingénieur des mines, directeur de l'exploitation de la compagnie P.-L.-M.

mètres dont la *fréquentation diurne* (on verra plus loin, § 10, la définition de cette expression) n'atteint pas 50 tonnes. C'est sur les 52 lignes restantes que les recherches ont porté.

3. — Le prix de revient kilométrique d'une tonne de marchandises à petite vitesse, sur une ligne donnée, dépend de deux éléments :

1° Le tracé de la ligne, qui influe puissamment sur les dépenses de la traction, par contre-coup sur les frais généraux (*), et, dans une faible mesure, sur les dépenses de l'exploitation proprement dite ;

2° La fréquentation de la ligne, ou le nombre de tonnes qui la parcourent ; cet élément affecte, d'une façon plus ou moins marquée, chacune des dépenses dont l'ensemble constitue le prix de revient.

4. — Pour se rendre compte de l'action qu'exercent sur le prix de revient les variations du tracé et de la fréquentation, il faut successivement :

1° Déterminer aussi exactement que possible le prix de revient effectif de la tonne kilométrique sur chaque section du réseau ;

2° Chercher une loi qui exprime, d'une façon suffisamment satisfaisante, une relation entre ces divers chiffres d'une part, le profil des lignes et leur fréquentation de l'autre.

I. — Détermination du prix de revient effectif.

5. — Pour déterminer le prix de revient effectif de la tonne kilométrique sur les diverses lignes du réseau, on a pris comme base le chiffre exactement connu des dépenses totales d'exploitation de chaque ligne, tel qu'il est fourni par la comptabilité, et on l'a réparti, au moyen d'hypo-

(*) Les dépenses comprises dans ce chapitre sont, pour la plupart, réparties entre les diverses lignes au prorata du parcours des trains sur celles-ci.

thèses aussi voisines que possible de la réalité, entre les services de la grande et de la petite vitesse.

Ce calcul a été fait *séparément* pour chacun des chapitres de dépense :

1° Administration centrale, direction, services généraux ;

2° Exploitation proprement dite ;

3° Matériel et traction ;

4° Entretien et réparation de la voie (réfection non comprise).

La marche suivie dans chaque cas est indiquée en détail dans les annexes nos 1 et 2.

6. — La répartition de la dépense totale entre la grande et la petite vitesse n'échappe pas à certains inconvénients que la disposition des comptes ne permet pas d'éviter.

Par exemple, les parcours et les dépenses des trains *mixtes* de voyageurs et de marchandises, dont l'importance relative est si grande sur les lignes peu fréquentées, ne peuvent être répartis que d'une façon toujours un peu arbitraire.

Il en est de même, forcément, pour les frais généraux, etc.

7. — Quant à la répartition des dépenses entre les diverses lignes, elle présente des difficultés de même nature.

Ainsi, les dépenses des gares communes ne peuvent être réparties que d'après des bases toujours un peu arbitraires. La règle adoptée conduit à grever certains embranchements très-courts et très-peu fréquentés d'une somme souvent fort élevée, représentant leur part des frais des grandes gares auxquelles ils aboutissent, et à dégrever d'autant la ligne principale. C'est là, nous le verrons plus loin (§ 23), qu'il faudra chercher l'explication de certaines anomalies.

II. — Formule du prix de revient.

8. — Une fois les prix de revient effectifs d'une tonne à 1 kilomètre déterminés pour chaque ligne, nous avons

cherché une formule pouvant exprimer la relation qui les lie au tracé et à la fréquentation. — On a toujours parlé jusqu'ici du *tracé* d'une ligne, et non pas seulement de son profil; c'est qu'il faut tenir compte, en même temps, de toutes les autres circonstances qui peuvent faire varier l'effet utile de la locomotive sur une section donnée, et en particulier, des courbes.

9. — Pour arriver à caractériser chaque section de ligne par un chiffre résumant l'ensemble des difficultés que son tracé présente à la traction, on s'est servi du livret des charges des trains. Dans ce livret, à chaque section de charge correspond, dans chaque sens, une rampe fictive, et, pour calculer ces chiffres, le service de la traction a tenu compte, non-seulement des rampes réelles, mais des courbes et des autres difficultés du tracé. Pour chaque section de charge, on a pris la moyenne des deux rampes fictives s'appliquant aux trains pairs et impairs. Puis, pour chacune des lignes formant le réseau, on a pris la moyenne des chiffres correspondant aux diverses sections de charge qui la composent (en tenant compte, bien entendu, de la longueur de ces sections). On obtient ainsi ce que l'on peut appeler la *rampe fictive moyenne* des diverses lignes du réseau.

Si on l'appelle I, en désignant par L la longueur totale d'une ligne, par i_1, i_2 et l la rampe fictive paire et impaire et la longueur de chaque section de charge, on a

$$I = \frac{\Sigma(i_1 + i_2)l}{2L}.$$

10. — Quant à la *fréquentation*, l'on a pris pour point de départ les chiffres fournis par le contrôle P. V., comme représentant le tonnage kilométrique *utile* (c'est-à-dire, déduction faite du poids mort), de chaque ligne pendant l'année (P). Afin de ne pas avoir affaire à des chiffres trop forts et incommodes à manier, on en a déduit, par une

division, le tonnage utile parcourant chaque jour, dans chaque sens, la longueur entière (L). C'est ce chiffre $\frac{P}{730\,L} = f$, qu'on peut appeler la *fréquentation diurne moyenne* de la ligne,

11. — On ne pourrait arriver immédiatement à une formule reliant le prix de revient total à la rampe et à la fréquentation, car chacun des éléments de ce prix de revient est lié à ces données par des lois spéciales, qu'il faut examiner séparément.

Voyons donc comment les divers éléments du prix de revient de la tonne kilométrique varient avec la rampe fictive moyenne et avec la fréquentation diurne.

12. — 1° *Exploitation proprement dite.* — Les frais de l'exploitation proprement dite dépendent de ces deux éléments, mais dans une mesure très-différente. La rampe, en effet, ne les affecte que très-faiblement, son influence se bornant, pour ce chapitre, à l'augmentation du nombre des garde-freins nécessaires pour le transport d'un tonnage utile donné. La fréquentation diurne, au contraire, exerce une action souvent très-prononcée sur les frais d'exploitation rapportés à la tonne kilométrique. En effet, les frais kilométriques diurnes d'exploitation, pour une ligne quelconque, se composent de deux parties, l'une proportionnelle à la fréquentation, l'autre constante ; cette dernière est constituée principalement par le traitement d'un certain nombre minimum d'agents des gares et des trains qu'on est toujours obligé d'entretenir, quelque faible que soit le tonnage transporté. En d'autres termes, ces frais kilométriques diurnes d'exploitation peuvent être représentés par la formule

$$a + bf,$$

a et b étant deux coefficients qui dépendent de la rampe fictive moyenne, f la fréquentation diurne moyenne.

Si maintenant on rapporte les frais du service de l'exploitation à la tonne kilométrique, en divisant leur chiffre par celui de la fréquentation diurne, ils seront représentés par la formule

$$b + \frac{a}{f}.$$

On voit donc que, toutes choses égales d'ailleurs, les frais de l'exploitation proprement dite augmenteront rapidement à mesure que la fréquentation diminuera et que cette augmentation deviendra considérable pour les lignes peu fréquentées, par exemple, pour celles où le tonnage des marchandises de petite vitesse est assez faible pour qu'il ne soit plus nécessaire d'y faire circuler des trains spéciaux de marchandises, les trains mixtes suffisant à tous les services.

13. — Mais les frais de l'exploitation proprement dite sont influencés par d'autres éléments que la fréquentation diurne et la rampe. Comme on en verra plus loin des exemples (§ 23), ils peuvent se trouver augmentés ou diminués, pour une ligne donnée, d'une façon tout à fait anormale, suivant que cette ligne renferme ou non un nombre relativement grand de gares de bifurcation, de triage, etc., suivant que, d'après les règles qui ont présidé à la répartition des dépenses entre les diverses lignes, elle a dû supporter ou non, une partie des frais de certaines grandes gares communes, etc. (c'est le cas, par exemple, de la ligne de Cette à Tarascon, etc.). Ces causes perturbatrices ont une action d'autant plus marquée que la ligne est plus courte. Les anomalies qu'elles produisent sont quelquefois assez fortes pour masquer entièrement l'effet de la fréquentation et de la rampe; elles ont toujours, on peut le dire, une influence plus forte que ce dernier élément. Comme aucune formule ne permet de tenir compte de ces circonstances accidentelles, on est conduit à négliger éga-

lement les variations des frais de l'exploitation proprement dite causées par les rampes, et à s'en tenir à celles qui résultent de la fréquentation. Il faudra donc supposer constants les coefficients a et b de la formule $x_2 = b + \frac{a}{f}$, dans laquelle x_2 représente les frais de l'exploitation proprement dite rapportés à la tonne kilométrique.

14. — Pour déterminer les coefficients a et b, il suffira d'assujettir la formule à donner pour la moyenne des lignes de l'ancien réseau et pour la moyenne de celle du nouveau des résultats conformes aux chiffres effectifs.

On a construit l'hyperbole que représente l'équation précédente; de part et d'autre de cette courbe, on a marqué les points correspondant aux dépenses de l'exploitation proprement dite rapportées à la tonne pour les 52 lignes étudiées (voir § 2). Malgré des écarts assez nombreux en plus ou en moins, écarts qui peuvent s'explique (voir § 23) par des anomalies particulières du genre de celles qui ont été indiquées précédemment (§§ 7 et 13), on peut admettre que cette courbe représente d'une façon suffisante la loi qui lie les variations des frais de l'exploitation proprement dite et celles de la fréquentation.

15. — 2° *Matériel et traction.* — Les frais de traction d'une tonne kilométrique varient d'abord, évidemment, avec le profil. Ils varient aussi avec la fréquentation.

En effet, la dépense par kilomètre de train sur un tracé donné (cette dépense, pour un même type de machines, n'est pas fortement influencée par le tracé), se compose de deux éléments : l'un ne dépend pas de la charge remorquée par la machine, ce sont les salaires des mécaniciens, des chauffeurs, l'entretien de la machine, etc.; l'autre varie à peu près proportionnellement à la charge, c'est la consommation de combustible, l'entretien et le graissage des wagons, etc. Ainsi, p étant la charge utile du train,

en tonnes, la dépense par kilomètre de train sera de la forme

$$a + bp,$$

et la dépense de traction d'une tonne, de la forme

$$b + \frac{a}{p}.$$

Mais, en fait, la charge utile des trains, pour un même tracé, décroît avec la fréquentation de la ligne. Les états dressés par le service du matériel et de la traction montrent, ce qui revient au même, que le rapport de la charge utilisée à la charge offerte, voisin de 1 pour les lignes à grand tonnage, décroît rapidement avec la fréquentation.

De plus, à mesure que la fréquentation P. V. diminue, l'importance relative des transports de marchandises de petite vitesse effectués par les trains mixtes va en augmentant, jusqu'à ce qu'on arrive aux lignes où il ne circule pas du tout de trains spécialement affectés aux marchandises.

Or, les frais de traction de la tonne utile sont plus grands pour les trains mixtes que pour les trains de marchandises, à cause de la vitesse plus grande des premiers, etc.

16.— Ainsi, les dépenses du service matériel et traction, rapportées à la tonne kilométrique, varient dans le même sens que la rampe, et en sens inverse de la fréquentation.

Si l'on cherche une relation approximative qui lie entre eux ces trois éléments, on arrive, par une série de calculs et de considérations que nous avons dû, en raison de leur longueur, renvoyer à une note spéciale (annexe n° 3), à la formule

$$x_2 = \alpha(1 + 0,1i)\left(1 + \frac{\beta}{f + \gamma}\right),$$

α, β et γ étant des coefficients numériques, que l'on peut déterminer par les procédés indiqués dans la note.

Si l'on fait ce calcul, puis qu'on applique successivement la formule à toutes les lignes étudiées, et que l'on compare ensuite les chiffres obtenus aux prix de revient effectifs, on trouve que 38 des résultats (près de 70 p. 100) sont approchés à moins de 20 p. 100 près, en plus ou en moins, et que 11 seulement (20 p. 100) présentent une erreur de plus de 30 p. 100.

On peut donc admettre que la formule ci-dessus représente x_3 avec une approximation suffisante.

17. — 3° *Voie (réfection non comprise).* — On a dû laisser de côté, dans cette étude, les frais de réfection de la voie, qui varient énormément d'une ligne à l'autre, suivant le temps qui s'est écoulé depuis la construction, etc. On pourrait, du reste, en les représentant, pour chaque ligne, par une annuité, les évaluer par la même méthode que les frais d'entretien.

Pour ces derniers frais, les chiffres donnés par la comptabilité centrale présentent encore des anomalies assez nombreuses et assez prononcées. Il est naturel, en effet, qu'ils soient influencés par une série de circonstances étrangères à celles dont on peut tenir compte dans cette étude; ainsi, par le temps qui s'est écoulé depuis la construction ou la réfection de la ligne, etc.

18. — Les frais d'entretien pour 1 kilomètre de voie ne dépendent du tracé que dans une mesure assez faible, trop variable d'ailleurs d'une ligne à l'autre pour qu'il y ait lieu d'en tenir compte ici. Par contre, ils doivent augmenter avec la quantité de marchandises qui circule sur la ligne. Ils comprendront une partie constante, dont on voit de suite la signification, et une autre partie qu'on pourra supposer proportionnelle à la fréquentation; ils pourront donc se représenter par une formule telle que $a + bf$.

Si l'on rapporte les frais d'entretien à la tonne kilométrique, leur chiffre, x_4, sera composé d'une partie constante et d'une autre qui variera en raison inverse de la fréquen-

tation; il sera donné par la formule $x_1 = \frac{a}{f} + b$. On pourra déterminer a et b à l'aide des deux valeurs données par la comptabilité centrale pour la moyenne des lignes de l'ancien et du nouveau réseau.

19. — Pour la voie, la formule obtenue ne peut être qu'assez grossièrement approchée. Si on l'applique aux 52 lignes étudiées, on trouve que, pour 27 de ces lignes, les résultats calculés s'écartent des chiffres réels de plus de 30 p. 100. Ils sont trop faibles pour certaines lignes, qui ont à supporter les frais de grandes réparations; ils sont trop forts pour beaucoup de lignes qui sont neuves ou dont les matériaux ont été récemment renouvelés.

20. — 4° *Frais généraux.* — La plupart des dépenses comprises dans ce chapitre ont été réparties entre les diverses lignes, au prorata du parcours des trains sur celles-ci; quelques-unes seulement ont pu être appliquées directement aux lignes auxquelles elles se rapportent : par exemple, les contributions directes, les frais d'accidents et les frais du contrôle administratif. En désignant par t le parcours total des trains correspondant à la petite vitesse, sur une ligne, et par L la longueur de celle-ci, on peut admettre pour les frais généraux annuels rapportés à 1 kilomètre une expression de la forme

$$a + b\frac{t}{L}.$$

P étant le tonnage kilométrique utile pendant l'année, p la charge utile moyenne des trains de P. V., et f la fréquentation diurne, on a

$$t = \frac{P}{p} = \frac{730\,Lf}{p},$$

ce qui donnera, pour les frais généraux rapportés à la tonne kilométrique, x_1, une expression de la forme

$$x_1 = \frac{\alpha_1}{f} + \frac{\beta_1}{p}.$$

On déterminera les constantes α_1 et β_1 en assujettissant la formule à donner des résultats conformes aux chiffres effectifs, quand on l'applique successivement à l'ensemble des lignes de l'ancien et du nouveau réseau.

D'ailleurs, comme on l'a vu plus haut (§ 15), p est une fonction de f et varie dans le même sens que cet élément. D'un autre côté, à égalité de fréquentation, p varie en sens contraire de la rampe. On peut écrire approximativement, γ_1, δ_1 et ε_1 étant des constantes,

$$\frac{1}{p} = \gamma_1(1 + 0,1i)\left(1 + \frac{\delta_1}{f + \varepsilon_1}\right),$$

d'où

$$x_1 = \frac{\alpha_1}{f} + \beta_1\gamma_1(1 + 0,1i)\left(1 + \frac{\delta_1}{f + \varepsilon_1}\right).$$

21. — Si l'on remplace les constantes par leurs valeurs numériques, et que l'on applique la formule aux diverses lignes étudiées, on trouve que les résultats obtenus sont presque tous trop faibles pour les lignes dont la fréquentation est inférieure à 100. De plus, quelques autres lignes présentent des écarts considérables. Ces écarts s'expliquent, dans la plupart des cas, par des accidents graves dont les frais, imputés directement aux lignes en question, ont très-lourdement grevé leur chapitre *frais généraux*. Mais ces écarts inévitables sont peu importants, parce qu'en somme les frais généraux n'entrent que pour une faible part dans le prix de revient total.

22. *Prix de revient total.* — Si maintenant on prend les quatre formules que l'on a obtenues successivement pour les quatre éléments du prix de revient, et qu'on les additionne, on trouve pour le total X_A :

$$\text{(A)} \quad X_A = 1,44 + 0,073\left(i + \frac{225}{f + 100}\right) + \frac{390}{f} + \frac{175}{f + 100}.$$

Si l'on applique cette formule aux diverses lignes étudiées et que l'on compare les résultats obtenus aux chiffres

effectifs, établis comme il a été dit aux §§ 5, 6, 7, on trouve que la moyenne arithmétique des erreurs ne dépasse pas 16,1 p. 100, et que, sur 55 nombres (*), 38, ou 70 p. 100, sont approchés à 20 p. 100 au moins, 10 seulement, ou 18 p. 100, présentent un écart de plus de 30 p. 100. De plus, la proportion des résultats suffisamment approchés varie assez peu, suivant qu'il s'agit de lignes à rampes faibles, moyennes ou fortes.

23. — D'ailleurs, toutes les fois que les divergences ont été très-accusées, elles s'expliquent par des causes perturbatrices, indépendantes de la rampe et de la fréquentation, et dont la formule ne pouvait pas tenir compte. Par exemple, la ligne de Tarascon à Cette donne un prix de revient supérieur de 30,5 p. 100 à celui qui résulte de la formule; cet écart tient au chiffre élevé des frais de l'exploitation proprement dite, et celui-ci s'explique parce que la ligne en question, d'une longueur relativement faible, supporte les frais de plusieurs gares de triage, de plusieurs grandes gares communes (Tarascon, Nîmes, Lunel, Montpellier, Cette), et ceux de stations très-rapprochées (18 sur 109 kilomètres, soit un écartement moyen de 6 kilomètres). L'anomalie disparaît, si l'on totalise les chiffres relatifs à cette ligne et à celle de Lyon à Marseille, pour laquelle le prix de revient réel est inférieur à 14 p. 100 au nombre calculé.

24. — Malgré des écarts inévitables, on peut admettre que la formule donnée plus haut représente, en général, d'une manière suffisamment approchée, le prix de revient de la tonne kilométrique sur les diverses lignes du réseau. Mais, les exemples précédents le montrent assez, il ne faut employer cette formule, pour une ligne donnée, qu'après avoir examiné si celle-ci se trouve bien, pour ses diverses conditions d'exploitation, en particulier pour le nombre

(*) 52 lignes, l'ensemble des lignes de l'ancien réseau, celui des lignes du nouveau réseau et celui des lignes des deux réseaux.

relatif et l'importance des gares et pour l'âge de la voie, dans une situation normale et moyenne.

S'il en est ainsi, on peut admettre que la formule donnera un chiffre représentant, en général, à 20 p. 100 près au plus, le prix de revient déterminé d'après la méthode que nous avons suivie. Si la ligne s'écarte des conditions moyennes pour quelque point laissé de côté par la formule et qui puisse influer sur le prix de revient, il faudra en tenir compte par une correction que l'on devra faire subir, un peu au sentiment, au chiffre calculé.

25. *Formule simplifiée.* — On peut aussi chercher à remplacer la formule du prix de revient de la tonne kilométrique par une autre expression plus simple et qui donne des résultats peu différents.

La formule A peut s'écrire

$$X_A = 1{,}44(1 + 0{,}05i) + \frac{16{,}4i}{f + 100} + \frac{390}{f} + \frac{175}{f + 100}.$$

On peut se proposer de lui substituer une expression de la forme

$$X_B = A_1(1 + 0{,}05i)\left(1 + \frac{B_1}{f}\right).$$

Pour déterminer A_1 et B_1, nous ferons en sorte que, si l'on applique successivement cette formule à l'ensemble des lignes de l'ancien réseau, puis à l'ensemble des lignes du nouveau $\left(\text{en prenant pour } i \text{ la moyenne } \frac{\Sigma iL}{\Sigma L}\right)$, les résultats calculés concordent avec les chiffres effectifs.

On trouve ainsi

$$A_1 = 1{,}46,$$
$$B_1 = 285.$$

et la formule précédente devient

$$\text{(B)} \qquad X_B = 1{,}46(1 + 0{,}05i)\left(1 + \frac{285}{f}\right).$$

Si l'on applique cette formule aux diverses lignes étudiées, et que l'on compare les résultats aux chiffres effectifs, on trouve que la moyenne arithmétique des erreurs ne dépasse pas 17,6 p. 100, et que, sur 55 nombres, 35, ou 64 p. 100, sont approchés à 20 p. 100 au moins, 12 seulement, ou 22 p. 100, présentent un écart de plus de 30 p. 100.

26. — Cependant, les chiffres donnés par la formule (B) sont, pour la plupart, très-sensiblement supérieurs à ceux de la formule (A), quand il s'agit de lignes à très-faible fréquentation. Si nous supprimons 15 lignes pour lesquelles la fréquentation est comprise entre 50 et 100, la moyenne arithmétique des erreurs ne sera plus que de 15,4 p. 100, tandis qu'elle sera de 15,2 pour la formule (A).

Ainsi, la formule (B) pourra être employée au lieu de celle-ci, toutes les fois qu'il s'agira de lignes d'une fréquentation au moins égale à 100.

27. — On pourrait chercher d'autres transformations de la formule (A), en s'appuyant sur ce fait que la fréquentation et la rampe moyenne ne sont pas, en pratique, absolument indépendantes l'une de l'autre, et qu'on peut les considérer comme liées par une relation approchée. Nous ne nous arrêterons pas à donner des exemples de ces transformations, qui ne présentent pas un grand intérêt.

28. — Avec quelque soin qu'ait été faite la détermination, pour chaque ligne du réseau, du prix de revient effectif de la tonne kilométrique, on comprend, sans qu'il soit besoin d'insister, qu'il serait présomptueux d'attribuer une valeur absolue soit à ces chiffres, soit à ceux que l'on déduit de l'une des deux formules (A) et (B). Mais, à défaut de valeur absolue, ces chiffres sont au moins comparables entre eux, et l'on peut se servir de l'une ou de l'autre formule pour calculer, avec une approximation suffisante (c'est le but essentiel de cette étude, et tout ce qu'il faut dans la pratique), dans quelles limites varie d'une ligne à l'autre,

sous l'influence du tracé, le prix de revient d'une tonne kilométrique.

C'est à ce point de vue et sous cette réserve que nous avons calculé ici, au moyen de la formule (A), le prix de revient en centimes de la tonne kilométrique pour une rampe et une fréquentation données.

RAMPE fictive moyenne.	FRÉQUENTATION.						
	∞	2.000	1.000	500	300	100	50
0	1,44	1,72	1,99	2,51	3,18	6,21	10,41
5	1,80	2.12	2,43	3,01	3,75	6,99	11,32
10	2.17	2,58	2,87	3,51	4,32	7,77	12,23
15	2,53	2,93	3,31	4,02	4,89	8.54	13,14
20	2,90	3,33	3,75	4,52	5,46	9.32	14,06
25	3,26	3,74	4,19	5,02	6.03	10,09	14,97
30	3,63	4,14	4,63	5,52	6,60	10,87	15,88

Le volume du tableau correspondant à une fréquentation infinie indique les prix de revient les plus bas qu'on puisse atteindre sur un profil donné. On voit combien le prix de revient augmente quand la fréquentation devient très-faible. On voit aussi que l'influence relative du tracé diminue beaucoup dans ce cas. Par exemple, pour une fréquentation infinie, le prix de revient double quand la rampe passe de 0 à 20, tandis que, pour une fréquentation 100, il n'augmente alors que de 40 p. 100.

29. — Les formules qui donnent le prix de revient de la tonne kilométrique peuvent servir à résoudre diverses questions dans lesquelles cet élément joue un rôle, par exemple, la suivante ;

Deux localités étant reliées par deux ou plusieurs chemins de fer, lequel devra-t-on choisir pour y faire passer les marchandises à transporter de l'une à l'autre?

Soient L, f et i les données relatives à l'un des itinéraires, L_1, f_1, i_1, celles qui se rapportent à l'autre; f et f_1 sont les transports acquis aux deux lignes considérées, et qui devront y passer en tout état de cause. On a en plus à trans-

porter journellement dans chaque sens un tonnage moyen y, par l'une ou par l'autre des deux lignes à volonté. Il faut donc comparer les chiffres qui représenteront l'augmentation des dépenses des deux lignes, quand le tonnage transporté passera de f et f_1 à $f+y$ et f_1+y. La dépense journalière totale, pour l'un des itinéraires transportant f tonnes, était, d'après la formule simplifiée (B)

$$1,46L(1+0,05i)(f+285);$$

elle deviendra, pour $f+y$ tonnes :

$$1,46L(1+0,05i)(f+y+285);$$

le transport de y tonnes en plus coûte donc :

$$1,46yL(1+0,05i).$$

De même, par l'autre itinéraire, ce transport coûte

$$1,46yL_1(1+0,05i_1).$$

Ainsi, la ligne la plus avantageuse sera celle qui donnera la valeur la plus faible pour le produit,

$$L(1+0,05i).$$

Tout se passe donc comme si la longueur de la ligne était majorée de 5 p. 100 par chaque millimètre de rampe fictive moyenne. En d'autres termes, s'élever de 1 mètre suivant la verticale représente la même dépense que de parcourir 50 mètres suivant l'horizontale.

La différence entre les frais de transport d'une tonne par l'un et par l'autre itinéraires a pour expression

$$1,46[L(1+0,05i)-L_1(1+0,05i_1)].$$

30. — On voit, en outre, que le transport d'une tonne

de plus augmentera les frais de 1,46 $(1 + 0,05i)$ par kilomètre parcouru ; c'est donc jusqu'à cette limite qu'on pourra descendre dans les abaissements de tarifs, pour assurer au chemin de fer un transport qui lui échapperait autrement.

31. — Le coefficient d'utilisation du matériel étant partout d'environ 50 p. 100, le supplément de frais occasionné par le transport d'une tonne de *charge brute* sur un kilomètre aurait pour expression

$$0,73(1 + 0,05i).$$

Tel serait le chiffre auquel s'abaisserait le prix du transport de la tonne kilométrique, dans le cas où l'on utiliserait le retour de matériel qui autrement circulerait à vide.

32. — En pratique, on peut se dispenser de majorer les rampes de 0 à 5, sauf à diminuer proportionnellement le coefficient de majoration pour les rampes plus fortes. Si l'on établit dans l'échelle des rampes des coupures de 5 en 5 millimètres, et que l'on attribue aux rampes comprises dans chaque coupure la majoration correspondant à la moyenne des deux chiffres extrêmes qui limitent la coupure, on trouve, et c'est la conclusion qui doit ressortir de cette étude, que 1 kilomètre sera compté

Sur des lignes	en rampe	de	0	à 5	pour	1.000	mètres.
—	—	de	5,1	à 10	—	1.200	—
—	—	de	10,1	à 15	—	1.400	—
—	—	de	15,1	à 20	—	1.600	—
—	—	de	20,1	à 25	—	1.800	—
—	—	de	25,1	à 30	—	2.000	—
—	—	de	30,1	à 35	—	2.200	—

ANNEXE N° 1.

Détermination du prix de revient effectif de la tonne kilométrique.

---

1. — Le premier élément à connaître est le parcours kilométrique que l'on doit considérer comme afférent à la petite vitesse. Pour le déterminer, on a réparti, pour chaque ligne, le parcours des trains *mixtes* entre la grande et la petite vitesse, dans le rapport des recettes brutes de l'une et de l'autre.

2.— Les dépenses afférentes à la petite vitesse, pour chaque ligne, ont été établies par la comptabilité centrale de l'exploitation. Toutefois, les errements suivis sur le réseau P.-L.-M. ne permettant pas de spécialiser directement par ligne les dépenses du chapitre matériel et traction, cette spécialisation a dû être faite par une série de calculs, à l'aide d'éléments fournis par le service intéressé (voir l'annexe n° 2).

Pour la plupart des articles et paragraphes de la légende, notre comptabilité donne directement le chiffre de dépenses à attribuer à chaque ligne. Quand elle ne donne, et c'est l'exception, qu'un chiffre de dépenses indivises, nous avons dû les répartir par ligne d'après des hypothèses aussi rapprochées que possible de la vérité.

Voici quelle a été la marche suivie pour la répartition entre la grande et la petite vitesse de trois des grandes divisions de la légende de nos comptes : exploitation, voie, frais généraux (pour le chapitre matériel et traction, voir l'annexe n° 2).

1° Pour l'*exploitation proprement dite*, on a d'abord appliqué respectivement à la grande et à la petite vitesse les dépenses que la légende des comptes permet de leur imputer directement, savoir :

Grande vitesse. — Indemnités pour pertes, retards et avaries (bagages, marchandises à grande vitesse) ;

Contrôle, grande vitesse ;

Personnel des gares de voyageurs, — des bureaux de messageries, — de la manutention de la messagerie, — des trains de voyageurs,— frais de déplacement du même personnel,— billets, imprimés et fournitures de bureau pour le service des voyageurs et des bagages, et pour le service de la messagerie, — chauffage des trains, — chauffage, éclairage et entretien du mobilier des gares de

voyageurs, — loyers divers et dépenses diverses pour le service de la grande vitesse;

Enfin, une partie des secours et des frais judiciaires.

Petite vitesse. — Indemnités pour pertes, retards et avaries (marchandises à petite vitesse);

Contrôle, petite vitesse;

Personnel des bureaux de marchandises, — de la manutention des marchandises,—des manœuvres de marchandises,— des trains de marchandises, — frais de déplacement du même personnel;

Imprimés et fournitures de bureau pour le service de la petite vitesse, — chauffage, éclairage et entretien du mobilier des gares de marchandises, — entretien et location de bâches et prolonges, — loyers divers et dépenses diverses pour le service de la petite vitesse, — amendes pour location de wagons;

Une partie des secours et des frais judiciaires.

On a réparti par moitié, entre la grande et la petite vitesse, les dépenses des bureaux de ville et du service télégraphique.

Les dépenses d'imprimés des trains et les dépenses diverses des trains ont été réparties au prorata des parcours des trains de grande et de petite vitesse (les parcours des trains mixtes ayant été préalablement partagés entre les deux services proportionnellement à leurs recettes brutes, comme plus haut (§ 2).

Les frais d'éclairage des trains ont été comptés pour 9/10 à la grande vitesse et 1/10 à la petite.

Les frais de manœuvres de voitures et de wagons dans les gares ont été attribués pour 1/10 à la grande vitesse et 9/10 à la petite.

Enfin, on a totalisé les sommes ainsi imputées successivement à chacun des deux services, et l'on a réparti entre eux, proportionnellement à ces chiffres, les dépenses des inspections principales et ceux des frais du service central de l'exploitation qui n'avaient pu être appliqués directement.

2° Les dépenses de la *voie* ont été réparties entre la grande et la petite vitesse au prorata du parcours des deux natures de trains (le parcours des trains mixtes ayant été au préalable, partagé entre les voyageurs et les marchandises proportionnellement aux recettes de grande et de petite vitesse, comme précédemment).

3° Enfin, ceux des *frais généraux* qui n'ont pu être imputés directement à la grande ou à la petite vitesse, et les frais généraux de l'administration centrale, ont été répartis entre la grande et la petite vitesse, proportionnellement au total des dépenses des chapitres précédents.

ANNEXE N° 2.

Détermination des dépenses du service matériel et traction afférentes à la petite vitesse.

1.— Les dépenses du service matériel et traction afférentes à la petite vitesse, pour une ligne donnée, se divisent en deux parties:

1° Les dépenses des trains de marchandises;

2° La portion des dépenses des trains mixtes imputable à la petite vitesse.

Ces deux parties ont été calculées séparément, pour chacune des lignes du réseau, de la manière suivante.

2. — Pour les trains de marchandises, on a pris comme point de départ le chiffre total des dépenses de ces trains sur l'ensemble du réseau, donné dans le compte rendu des opérations du service matériel et traction en 1877. D'après ce document, les dépenses pour les diverses catégories de trains de l'exploitation sont les suivantes (y compris les frais généraux répartis) :

	francs.
Express	2.245.053
Voyageurs (et mixtes)	17.509.794
Marchandises	26.474.808 (*)

Ainsi que l'indique le compte rendu, ces chiffres sont seulement estimatifs, mais ils ont été établis avec le plus grand soin, et les éléments les plus importants qui les composent ressortent exactement des écritures; les dépenses estimées sont relativement peu considérables, et l'ensemble doit être considéré comme extrêmement approché.

Il s'agit maintenant de répartir la dépense totale des trains de marchandises entre les diverses lignes du réseau, en tenant compte des circonstances qui peuvent faire varier le prix de revient (tracé, utilisation des trains, etc.). Le service matériel et traction a fait

(*) On a réduit ce chiffre, dans tous les calculs à 26.468.467 francs, pour tenir compte des dépenses afférentes à la ligne de la frontière d'Italie à Vintimille, qui ne figure pas dans ces calculs.

ce travail. Il a déterminé d'abord le prix de revient d'un kilomètre de train sur des rampes variables et à des vitesses différentes, en supposant que les machines travaillent toujours *à pleine charge.* Divisant ensuite le prix du kilomètre de train par la charge correspondant à une vitesse et à une rampe données, il a obtenu le prix de la tonne brute transportée à 1 kilomètre. Il a ensuite appliqué les chiffres ainsi calculés à chacune des lignes du réseau, en ayant égard aux rampes qu'elles présentent et aux vitesses qui sont assignées aux trains sur leur parcours; enfin, il a tenu compte de la charge réellement remorquée, en multipliant le prix normal par un coefficient dépendant du rapport de la charge réelle à la charge maxima qui correspond à la rampe fictive de la section considérée et à la vitesse des trains.

Le prix de la tonne brute transportée à 1 kilomètre, déterminé ainsi pour chaque section, a été multiplié par le tonnage brut transporté sur celle-ci par les trains de marchandises, extrait de la statistique des parcours.

Le total de ces chiffres, pour l'ensemble du réseau, est de. . . . . 24.555.576 fr.

La dépense totale effective des trains de marchandises est, comme on l'a vu plus haut, de. . . . . 26.468.467 fr.

La différence est de 7,79 p. 100 du premier total. Afin d'en tenir compte, on a fait subir au chiffre calculé pour chaque ligne par le service de la traction une majoration de 7,79 p. 100, et l'on a obtenu ainsi les dépenses totales des trains de marchandises, (*a*).

3. — Pour les trains mixtes, les éléments dont on dispose sont loin de présenter le même degré d'approximation. Les seules données que l'on ait exactement sont le parcours et le tonnage brut kilométrique des trains mixtes, pour chaque ligne. Mais les dépenses concernant ce genre de trains sont confondues, dans le compte rendu du service matériel et traction, avec celles des trains de voyageurs (les express à part). De plus, eût-on exactement les dépenses des trains mixtes, il faudrait encore les répartir entre la grande et la petite vitesse, d'une manière forcément toujours un peu arbitraire. On a donc dû se contenter, pour ces trains, d'une série d'estimations aussi approximatives que possible; et voici comment on a procédé.

On a supposé d'abord que la dépense moyenne par kilomètre de train est à peu près la même pour les trains mixtes et pour les trains de voyageurs (express non compris). Cette hypothèse ne doit point être très-éloignée de la vérité, car les charges brutes moyennes sont à peu près les mêmes de part et d'autre, ainsi que

le rapport des parcours des voitures à voyageurs et des wagons à marchandises, à bagages, à bestiaux (*), etc.

D'après le chiffre que l'on a donné plus haut pour la dépense totale des trains de voyageurs et mixtes réunis, 17.509.794 francs, on trouve pour la dépense kilométrique moyenne de traction de ces trains (et par suite des trains mixtes, comme on vient de le dire) 0f,869.

On a ensuite admis que le prix de revient du kilomètre de train mixte sur les diverses lignes peut être considéré comme s'écartant généralement assez peu du prix moyen qu'on vient de déterminer. Sans doute, cette hypothèse n'est pas rigoureusement vraie; mais elle paraîtra suffisamment approchée, si l'on tient compte de l'importance relative du tonnage des marchandises P.-V. transportées par les trains mixtes et par les trains de marchandises; la part des premiers est toujours comparativement assez faible dès qu'il s'agit de lignes ayant une fréquentation un peu forte; or, ces lignes sont les seules pour lesquelles on puisse chercher à déterminer avec quelque approximation le prix de revient de la tonne kilométrique. Ainsi, pour toutes les lignes, on a pris 0f,869 comme prix moyen du kilomètre de train mixte.

(*) Pour les charges brutes, la statistique des parcours donne (pages 4 et 8) :

	PARCOURS des trains. t	TONNAGE brut kilométrique P	CHARGE brute moyenne calculée. $\frac{P}{t}$
Trains de voyageurs (express compris).	9.218.163	1.190.561.092	129
Trains mixtes.	13.962.005	1.628.072.585	116

Pour les parcours des véhicules on trouve dans le même document (page 3) :

	NATURE DES TRAINS.			
	VOYAGEURS (express compris).		MIXTES.	
	Parcours.	Proportion p. 100.	Parcours.	Proportion p. 100.
Voitures à voyageurs.	55.273.096	53,0	82.149.360	50,4
Wagons à marchandises. à bagages, etc	49.008.567	47,0	80.872.924	49,6

Enfin, à défaut de procédés plus exacts, on a réparti, pour chaque ligne, les dépenses des trains mixtes entre la grande et la petite vitesse dans le rapport des recettes brutes des deux services. On obtient ainsi la dépense afférente à la petite vitesse du chef des trains mixtes, (b).

4. — Le total de la dépense des trains de marchandises et de la portion de la dépense des trains mixtes afférente à la petite vitesse, ($a + b$), donne, pour chaque ligne, la part de la petite vitesse dans la dépense du chapitre matériel et traction.

En divisant ce chiffre par le tonnage kilométrique utile résultant des calculs du contrôle P.-V., on obtient les frais du service matériel et traction rapportés à la tonne kilométrique utile.

ANNEXE N° 3.

Formule du prix de revient du service matériel et traction.

---

1. Comme on l'a vu dans la note (§ 15), les frais du service matériel et traction, rapportés à la tonne kilométrique, varient dans le même sens que la rampe et en sens inverse de la fréquentation.

Voici comment on peut trouver une relation approximative qui lie entre eux ces trois éléments.

2. On peut admettre, sans s'écarter beaucoup de la vérité, que, pour un même type de machines travaillant à pleine charge, les frais de matériel et traction, par kilomètre de train, sont constants. Si la machine ne remorque plus qu'une fraction de sa charge normale, en marchant à la même vitesse, une partie de ces frais ne varie pas (salaires des mécaniciens, des chauffeurs, entretien de la machine, etc.), les autres (combustible, entretien des wagons, etc.), varient à peu près en raison directe de la charge brute remorquée. Ainsi, ω étant la charge brute maximum sur une rampe donnée et à une vitesse donnée, u la charge brute remorquée, dans les mêmes conditions, α et β deux coefficients numériques, les frais de 1 kilomètre de train auront pour expression

$$\alpha + \beta \frac{u}{\omega}.$$

D'ailleurs, p étant la charge utile du train, et x_1 les frais de

matériel et traction rapportés à la tonne kilométrique, ces mêmes frais, rapportés au kilomètre de train, auront pour valeur px_2, ce qui donne l'équation

$$px_2 = \alpha + \beta \frac{u}{\omega}.$$

Le rapport moyen de la charge utile p à la charge brute u, pour une ligne donnée, est une fonction de la fréquentation f, et décroît en même temps que celle-ci, comme l'expérience le démontre. Appelons ρ ce rapport, et remplaçons p par $u\rho$, nous aurons

$$x_2 = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\alpha}{u} + \frac{\beta}{\omega}\right).$$

D'un autre côté, le rapport moyen de la charge brute réelle u à la charge brute maximum ω est aussi une fonction de f, variant dans le même sens que cet élément, ainsi qu'on l'a expliqué dans la note (§ 15). Appelons ce rapport λ, et remplaçons u par $\omega\lambda$, il vient

$$x_2 = \frac{1}{\omega\rho}\left(\frac{\alpha}{\lambda} + \beta\right).$$

Le produit $\frac{1}{\rho}\left(\frac{\alpha}{\lambda} + \beta\right)$ est une fonction de f, décroissant avec cette variable. Nous pourrons poser

$$\frac{1}{\rho}\left(\frac{\alpha}{\lambda} + \beta\right) = \mu + \frac{\nu}{\varphi}.$$

μ et ν étant des constantes, φ une fonction de f qui varie dans le même sens. L'équation devient

$$(1) \qquad x_2 = \frac{1}{\omega}\left(\mu + \frac{\nu}{\varphi}\right).$$

Le facteur $\frac{1}{\omega}$ ne dépend que de la rampe et de la vitesse, ce second élément étant lui-même une fonction du premier; le facteur $\mu + \frac{\nu}{\varphi}$ ne dépend que de la fréquentation moyenne de la ligne. Cherchons à les exprimer séparément, en fonction de nos deux données fondamentales.

3. Soit R la résistance totale en kilogrammes d'un train marchant à une vitesse donnée :

r le coefficient de résistance sur palier, en kilogrammes par tonne;

q le poids de la machine et du tender (en tonnes);
i la rampe fictive en millimètres.

On a

$$R = (r + i)(\omega + q),$$

d'où

(2) $$\frac{1}{\omega} = \frac{r + i}{R - q(r + i)}.$$

q, r et i sont donnés; nous prendrons pour y 55 tonnes, pour r la valeur 4, qu'on admet souvent.

La machine travaillant toujours à pleine charge, $\frac{R}{r}$ représenterait (en tonnes) le poids total (y compris le sien) qu'elle peut remorquer sur palier à la vitesse considérée.

Par suite, R varie en sens contraire de la vitesse.

D'ailleurs, pour les trains de marchandises, tant que i ne dépasse guère 10 (ce qui est le cas des rampes fictives *moyennes* de toutes les lignes étudiées), la vitesse diminue à mesure que la rampe augmente; ainsi, quand la rampe varie dans ces limites, R croît avec elle. Si l'on compare les nombres inscrits dans le livret des charges des trains pour les charges brutes normales sur palier aux différentes vitesses des machines à six roues couplées de la série 2.000, $\left(\frac{R}{r} - q\right)$, et les vitesses inscrites dans le livret de la marche des trains pour les trains de marchandises, sur les diverses sections de charge, on voit (*fig.* 1, Pl. V) qu'on peut écrire, avec une approximation suffisante, tant que i ne dépasse pas 11,

$$\frac{R}{r} = 60i + 660 = 60(11 + i).$$

Remplaçons, dans la formule (2), R par sa valeur déduite de cette équation, q et r par les chiffres donnés plus haut (55 et 4), et il vient

$$\frac{1}{\omega} = \frac{4 + i}{2.420 + 185i} = \frac{1}{605}\,\frac{1 + 0{,}25i}{1 + 0{,}076i}.$$

Avant de substituer cette valeur à $\frac{1}{\omega}$ dans la formule (1), on peut chercher à la remplacer approximativement par une autre expression plus simple. Si l'on représente par une courbe les valeurs de la fraction $\frac{1 + 0{,}25i}{1 + 0{,}076i}$ (*fig.* 2), on voit que cette courbe

ne s'écarte pas très-notablement, pour i compris entre 0 et 10, de la droite ayant pour ordonnée $1 + 0,1i$ (*).

Nous pourrons donc écrire, toujours entre les mêmes limites de rampe,

$$(3) \qquad \frac{1}{\omega} = \frac{1}{605}(1 + 0,1i).$$

4. Il nous reste à exprimer $\mu + \frac{\nu}{\varphi}$ (§ 2) en fonction de f. On pourrait se proposer de chercher les lois qui lient la fréquentation d'une part, le rapport de la charge brute utilisée à la charge brute offerte et le rapport de la charge utile à la charge brute de l'autre; puis on en déduirait μ, ν, ainsi que la forme de la fonction φ. Sans entrer dans ces calculs, qui ne pourraient d'ailleurs avoir qu'une précision très-limitée, on peut arriver à évaluer $\mu + \frac{\nu}{\varphi}$ avec une approximation tout aussi grande, par le procédé empirique suivant.

Prenons la formule (1)

$$x_3 = \frac{1}{\omega}\left(\mu + \frac{\nu}{\varphi}\right);$$

remplaçons-y $\frac{1}{\omega}$ par sa valeur tirée de la formule (3), il vient

$$(4) \qquad x_3 = (1 + 0,1i) \times \frac{1}{605}\left(\mu + \frac{\nu}{\varphi}\right).$$

Ainsi, le quotient $\frac{x_3}{1 + 0,1i}$ représente, à un facteur constant près, $\mu + \frac{\nu}{\varphi}$.

On a déterminé, pour chacune des lignes du réseau, la valeur effective de x_3; calculons, pour chacune de ces lignes, le quotient $\frac{x_3}{1 + 0,1i}$, et représentons les valeurs trouvées par des ordonnées, les fréquentations correspondantes par des abscisses (voir la *fig.* 3).

Les points ainsi obtenus ne forment pas une courbe régulière, cependant on voit que, sauf quelques exceptions, ils se groupent

(*) L'erreur relative maximum répond à $i = 0,4$, et ne dépasse pas 9 p. 100 de la valeur exacte. On aurait une approximation un peu plus grande en prenant, au lieu de $1 + 0,1i$, $1,075 + 0,1i$; l'erreur relative maximum ne serait plus que de 4,2 p. 100. Mais la formule $1 + 0,1i$ convient mieux quand on l'étend, comme on peut le faire, ainsi qu'on le verra plus loin (§ 5), à des valeurs de i notablement supérieures à 10.

sensiblement autour d'une hyperbole ayant ses asymptotes parallèles aux axes de coordonnées, et situées l'une au-dessous de l'axe des abscisses, l'autre à gauche de l'axe des ordonnées. L'équation de cette hyperbole sera donc de la forme

$$y = \alpha\left(1 + \frac{\beta}{f + \gamma}\right),$$

α, β et γ étant des coefficients numériques.

Pour déterminer ces coefficients, il nous faudra trois équations. Divisons les lignes du réseau en trois groupes, tels que, pour chacun d'eux, les valeurs de i et de f à la fois soient renfermées entre des limites aussi différentes que possible de celles qui définissent les deux autres. — On pourrait se proposer de calculer α, β et γ de façon à ce que la formule obtenue, appliquée à chaque ligne du réseau, donnât pour la somme des dépenses du service matériel et traction relative à chacun des trois groupes un chiffre précisément égal à la somme effective de ces dépenses, résultant du tableau n° 1. Si l'on désigne par les indices 1, 2, 3, les valeurs des données pour les lignes du 1er, du 2e et du 3e groupe, on devrait avoir :

$$(5)\quad \begin{cases} \Sigma l_1 f_1 (x_3)_1 = \alpha\Sigma(1 + 0{,}1\, i_1)\left(1 + \dfrac{\beta}{f_1 + \gamma}\right) l_1 f_1, \\ \Sigma l_2 f_2 (x_3)_2 = \alpha\Sigma(1 + 0{,}1\, i_2)\left(1 + \dfrac{\beta}{f_2 + \gamma}\right) l_2 f_2, \\ \Sigma l_3 f_3 (x_3)_3 = \alpha\Sigma(1 + 0{,}1\, i_3)\left(1 + \dfrac{\beta}{f_3 + \gamma}\right) l_3 f_3. \end{cases}$$

On aurait bien ainsi trois équations entre les trois inconnues α, β, γ. Mais le calcul de celles-ci serait fort compliqué, et il sera plus simple de les obtenir approximativement, avec une exactitude encore suffisante, comme on va le voir.

Rangeons, par exemple, les diverses lignes dans l'ordre de leurs fréquentations, et divisons-les en trois groupes ainsi définis :

1er groupe. . . . . $f > 1.000$,
2e groupe. . . . . f compris entre 1.000 et 200,
3e groupe. . . . . $f < 200$.

Soit, pour le 1er groupe :
L_1 la somme des longueurs des lignes ;
F_1 la fréquentation moyenne ;

X_1 le prix de revient moyen (matériel et traction);
de sorte que l'on a

$$L_1 = \Sigma l_1,$$

$$F_1 = \frac{\Sigma f_1 l_1}{L_1},$$

$$X_1 = \frac{\Sigma f_1 l_1 (x_2)}{F_1 L_1}.$$

Supposons que α, β et γ vérifient les trois équations (5); et appelons I_1 le nombre défini par l'équation :

$$X_1 = \alpha(1 + 0{,}1 I_1)\left(1 + \frac{\beta}{F_1 + \gamma}\right),$$

on aura

$$\begin{aligned} F_1 L_1 X_1 &= \alpha F_1 L_1 (1 + 0{,}1 I_1)\left(1 + \frac{\beta}{F_1 + \gamma}\right) \\ &= \Sigma f_1 l_1 (x_2)_1 \\ &= \alpha \Sigma f_1 l_1 (1 + 0{,}1 i_1)\left(1 + \frac{\beta}{f_1 + \gamma}\right). \end{aligned}$$

ou bien

$$(6) \quad \begin{cases} F_1 L_1 + 0{,}1 I_1 F_1 L_1 + \beta \dfrac{F_1 L_1}{F_1 + \gamma} + 0{,}1 \beta \dfrac{I_1 F_1 L_1}{F_1 + \gamma} \\ = \Sigma f_1 l_1 + 0{,}1 \Sigma i_1 f_1 l_1 + \beta \Sigma \dfrac{f_1 l_1}{f_1 + \gamma} + 0{,}1 \beta \Sigma \dfrac{i_1 f_1 l_1}{f_1 + \gamma}. \end{cases}$$

I_1 n'est pas connu tant qu'on n'a pas calculé α, β et γ. Mais on peut, comme approximation, prendre au lieu de I_1 la valeur $\frac{\Sigma i_1 f_1 l_1}{F_1 L_1}$, que nous appellerons I'_1.

Alors, si l'on tient compte de l'égalité $F_1 L_1 = \Sigma f_1 l_1$, l'équation (6) deviendra :

$$\frac{F_1 L_1}{F_1 + \gamma} + \frac{0{,}1 I'_1 F_1 L_1}{F_1 + \gamma} = \sum \frac{f_1 l_1}{f_1 + \gamma} + 0{,}1 \sum \frac{i_1 f_1 l_1}{f_1 + \gamma}.$$

I'_1 ne vérifiera pas exactement cette équation; mais, en fait (nous nous en assurerons après coup), d'après les limites entre lesquelles les diverses données sont comprises, les valeurs des deux membres diffèrent très-peu l'une de l'autre.

Par suite, on pourra écrire approximativement

$$X_1 = \alpha(1 + 0{,}1 I'_1)\left(1 + \frac{\beta}{F_1 + \gamma}\right).$$

De même, si nous posons, pour les deux autres groupes de lignes

$$I'_2 = \frac{\Sigma i_2 f_2 l_2}{F_2 L_2},$$
$$I'_3 = \frac{\Sigma i_3 f_3 l_3}{F_3 L_3},$$

on écrira, toujours approximativement,

$$X_2 = \alpha(1 + 0{,}1 I'_2)\left(1 + \frac{\beta}{F_2 + \gamma}\right),$$
$$X_3 = \alpha(1 + 0{,}1 I'_3)\left(1 + \frac{\beta}{F_3 + \gamma}\right),$$

et l'on aura ainsi, entre α, β et γ, trois équations faciles à résoudre.

Il faudra s'assurer ensuite que la formule est admissible : on l'appliquera successivement à chacune des lignes de nos trois groupes; on en déduira, pour chacun des groupes, la somme des dépenses du service matériel et traction; enfin l'on verra si cette somme calculée ne s'écarte pas trop du chiffre réel. La vérification a été faite; elle réussit aussi bien qu'on puisse le désirer.

De plus, comme on l'a dit dans la note (§ 16), si l'on compare les prix de revient effectifs et calculés pour toutes les lignes étudiées, on trouve que l'ensemble des écarts ne sort pas des limites d'approximation que comporte la nature de la question.

5. La formule qu'on vient de trouver n'a été établie que pour des valeurs de la rampe fictive moyenne ne dépassant guère 10. C'est le cas des diverses lignes étudiées. Cependant, la même formule pourrait encore être employée avec une approximation suffisante pour des rampes plus fortes. Reprenons l'équation (2) (§ 3)

$$\frac{1}{\omega} = \frac{r + i}{R - q(r + i)}.$$

Pour les rampes supérieures à 10, la vitesse, au lieu de décroître à mesure que la rampe croît, est constamment fixée à 15 kilomètres, ce qui donne, pour les machines de la série 2.000, avec $q = 55$ et $r = 4$,

$$R = 5.340,$$
$$\frac{1}{\omega} = \frac{1}{1.280}\,\frac{1 + 0{,}25 i}{1 - 0{,}0107 i}.$$

Les nombres de cette formule se rapprochent encore beaucoup, quand i varie entre 10 et 15, de ceux qu'on déduit de la formule

$$\frac{1}{\omega} = \frac{1}{605}(1 + 0{,}1 i);$$

les nombres exacts, d'abord inférieurs aux nombres approchés, les dépassent pour $i = 12,7$ environ ; à mesure que i croît, l'écart augmente, et pour $i = 20$, il atteint 21 p. 100.

On peut s'en rendre compte par la *fig.* 4, dans laquelle une ligne droite, tracée en traits mixtes (-·-·-·-·), représente les variations de $1 + 0,1i$, tandis que des courbes, tracées en traits pleins, montrent celles de $\frac{605}{\omega}$, d'après les formules exactes.

Mais, quand i dépasse 20, on ne se sert plus, comme on l'a supposé jusqu'ici, de machines de la série 2.000 ; on leur substitue des machines de la série 4.000, à 8 roues couplées, marchant également à la vitesse de 15 kilomètres. Alors, si l'on désigne par q_1, R_1, ω_1, les éléments que nous appelons q, R, ω, et si l'on fait toujours $r = 4$, on a

$$q_1 = 77, \quad R_1 = 9.628,$$

$$\frac{1}{\omega_1} = \frac{1}{2.330} \, \frac{1 + 0,23i}{1 - 0,00826i}.$$

Les résultats de cette formule sont notablement inférieurs à ceux de la formule $\frac{1}{605}(1 + 0,1i)$, comme on peut le voir dans la *fig.* 4, en AB. Mais on doit remarquer que les frais de traction kilométriques, pour une machine de ce type, sont beaucoup plus élevés que pour une machine de la série 2.000.

On peut admettre que, si l'on passe de l'une de ces dernières machines à une machine de la série 4.000, la moitié environ des frais du kilomètre de train à pleine charge (personnel, etc.) ne changera pas, tandis que le reste s'accroîtra dans le rapport des puissances des machines.

En désignant ces frais kilométriques par K et K_1, on aura donc

$$K_1 = \frac{K}{2}\left(1 + \frac{2.407}{1.535}\right) = 1.405 K.$$

D'ailleurs on a, $(x_2)_1$ désignant le prix de revient de la tonne kilométrique dans le cas actuel,

$$K = \omega x_2, \quad K_1 = \omega_1 (x_2)_1.$$

On en tire

$$(x_2)_1 = \frac{K_1}{\omega_1} = 1.405 \, \frac{K}{\omega_1};$$

et, comme on avait, a et b étant constantes,

$$K = 605\left(a + \frac{b}{f+\gamma}\right),$$

$$(x_2)_1 = 1.405 \times \frac{605}{\omega_1}\left(a + \frac{b}{f+\gamma}\right).$$

On voit donc qu'ici la courbe qu'il faudra comparer à la droite $1 + 0,1i$, dans la *fig.* 5, n'est plus la courbe $\frac{605}{\omega_1}$, tracée en AB, mais la courbe $1,405 \times \frac{605}{\omega_1}$; cette dernière a été tracée en CD. Elle est d'abord très-sensiblement au-dessous de la droite $1 + 0,1i$, mais elle l'atteint et même la dépasse pour des valeurs de i voisines de 30. Si l'on compare les aires comprises de part et d'autre de la droite entre elle et les trois courbes qui représentent $\frac{x_2}{a + \frac{b}{f+\gamma}}$ pour les trois séries de valeurs de i que nous avons distinguées (ces aires sont hachées dans la figure), on verra qu'elles sont à peu près équivalentes. On peut donc substituer la droite à l'ensemble des trois courbes, avec l'approximation que comportent des formules de ce genre. D'ailleurs, les rampes supérieures à 10 n'ont jamais qu'une longueur assez faible relativement à l'ensemble d'une ligne; de plus, par suite des variations de profil de chaque section, des voyages en retour, etc., les machines de la série 2.000 parcourent certaines rampes supérieures à 20, tandis que celles de la série 4.000 ne circulent pas exclusivement sur des rampes aussi fortes. Ainsi, la formule

$$x_2 = \alpha(1 + 0,1i)\left(1 + \frac{\beta}{f+\gamma}\right)$$

pourra être employée pour des rampes allant jusqu'à 30.

6. Au lieu de calculer ainsi, à l'aide de formules théoriques, les valeurs de la charge brute normale pour les rampes supérieures à 10, on pourrait les prendre dans le livret des charges des trains. On trouverait alors, approximativement, pour une section de charge donnée, α étant une constante :

$$\frac{1}{\omega} = \alpha(1 + 0,15i + 0,0012i^2),$$

et, pour une ligne,

μ et ν étant des constantes,

φ une fonction de f qui varie dans le même sens,

I la rampe fictive moyenne,
L la longueur totale,
i et l la rampe fictive et la longueur des diverses sections de charge.

$$x_3 = \alpha\left(\mu + \frac{\nu}{\varphi}\right)\left(1 + 0,15I + 0,0012\,\frac{\Sigma i^2 l}{L}\right).$$

Mais, en comparant les chiffres déduits de cette formule aux prix de revient effectifs, on voit de suite que les premiers sont beaucoup trop forts dès que i devient un peu grand. C'est que, dès que i dépasse 5, les charges normales inscrites au livret des charges sont notablement inférieures à celles que la machine pourrait remorquer, si toute sa puissance était utilisée. Or, dans tous nos raisonnements, nous avons pris pour ω la charge brute normale de la machine *travaillant à pleine charge*, à une vitesse donnée; avec les valeurs de ω tirées du livret des charges, la dépense du kilomètre de train marchant à 15 kilomètres à l'heure irait en diminuant à mesure que i augmente, au lieu de rester à peu près constante comme nous l'avons admis. Si donc, en prenant ces valeurs de ω, on supposait la dépense constante, on exagérerait le prix de revient dans une proportion d'autant plus grande que la rampe est plus forte.

TABLE DES MATIÈRES.

ANNEXES.

MÉMOIRE

SUR

L'EMPLOI DE LA DÉTENTE

DANS

LES MACHINES D'EXTRACTION

Par M. LEDOUX, ingénieur des mines.

§ 1. — Les machines d'extraction employées dans les mines de houille ont subi depuis quarante ans une série de transformations commandées par le développement de la production et l'approfondissement des puits. Aux anciennes machines de Watt à balancier ont succédé les machines horizontales à un seul cylindre et à engrenages; celles-ci, à leur tour, ont été remplacées par les machines à deux cylindres conjugués, horizontaux ou verticaux, agissant directement sur l'arbre des bobines ou des tambours au moyen de deux manivelles calées à 90° l'une de l'autre.

Ce dernier type, qui est le seul usité aujourd'hui, dès que la force dépasse 50 à 60 chevaux, satisfait en effet à la plupart des conditions que doivent remplir les machines d'extraction, savoir :

1° Une grande puissance, pour élever rapidement des poids considérables de profondeurs qui atteignent parfois 800 et 900 mètres;

2° Une grande facilité de manœuvres, afin que le mécanicien puisse facilement et pour ainsi dire instantanément modérer ou accélérer la vitesse, ou changer le sens de la marche;

3° La simplicité du mécanisme afin d'éviter les répara-

tions et les arrêts, parfois désastreux, qui en sont la conséquence.

Mais il est une condition que, jusque dans ces derniers temps, ces machines ne remplissaient à aucun degré et qui tend à prendre de jour en jour une plus grande importance; c'est l'économie du combustible dont la nécessité se fait sentir de plus en plus, à mesure que croissent les dimensions des machines. Autrefois en effet, quand la profondeur des puits ne dépassait guère 300 mètres, que le prix de revient des charbons était peu élevé, on pouvait sans trop de scrupule sacrifier un combustible que l'on avait à bas prix sur les houillères et que l'on choisissait d'ailleurs parmi les qualités inférieures. Aujourd'hui il n'en est plus ainsi : le prix de la main d'œuvre et par suite le prix de revient ont augmenté partout dans une proportion plus ou moins forte; par des procédés perfectionnés de triage et de lavage on est parvenu à utiliser commercialement les charbons de mauvaise qualité, qui étaient considérés autrefois comme de nulle valeur; enfin la profondeur des travaux exige l'emploi de machines énormes dont les cylindres atteignent $0^m,90$ et 1 mètre de diamètre avec des courses de $1^m,50$ et 2 mètres et dont la consommation de vapeur est considérable.

La dépense de l'extraction tend donc à devenir une fraction de plus en plus importante du prix de revient, et il n'est pas étonnant que l'attention des ingénieurs se soit portée dans ces derniers temps sur cette question.

La plupart des machines d'extraction à deux cylindres conjugués que l'on construisait autrefois étaient réglées de manière à marcher à pleine admission pendant toute la course, et comme, par suite des conditions spéciales auxquelles doivent satisfaire ces machines, les dimensions des cylindres sont toujours bien supérieures à celles qui seraient strictement nécessaires pour produire, à la pression des chaudières, le travail qu'on leur demande, on rédui-

sait par le moyen du régulateur la pression d'admission, de manière que celle-ci dépassait souvent de très-peu la contre-pression d'échappement. Il en résultait une utilisation de vapeur extrêmement imparfaite. L'emploi de la détente fixe ou variable se présentait naturellement pour améliorer cette utilisation, et divers dispositifs ont été imaginés pour le réaliser, notamment par MM. Audemar, Kraft, Guinotte et plus récemment par MM. Scohy, Sulzer et Charles Beer. L'Exposition universelle de 1878 montrait plusieurs machines d'extraction appartenant à ces différents systèmes.

L'objet du présent mémoire est de préciser le mode d'action de la vapeur dans les machines d'extraction à pleine pression et dans les machines à détente fixe ou variable, de déterminer au moyen des données fournies par l'expérience, et aussi exactement que le comporte un tel sujet, l'économie que l'on peut espérer obtenir par un règlement convenable de la distribution et par l'usage de la détente, enfin de donner une description des principaux systèmes appliqués jusqu'à ce jour pour la production de la détente variable.

PREMIÈRE PARTIE.

CONSOMMATION DE VAPEUR DES DIVERS TYPES DE MACHINES.

CHAPITRE I.

CALCUL DES DIMENSIONS DES MACHINES D'EXTRACTION.

§ 2. — On calcule ordinairement les dimensions d'une machine d'extraction à deux cylindres conjugués, de manière qu'elle satisfasse à cette condition de pouvoir enlever la cage pleine au fond, sans le secours du contre-poids de la cage vide et quelle que soit la position des manivelles.

Si la distribution est réglée pour la pleine admission pendant toute la course, c'est-à-dire avec des tiroirs sans avance ni recouvrement, la position la plus défavorable aura lieu quand l'une des manivelles sera au point mort.

Étant donnés les divers éléments de l'extraction, savoir:

Le poids utile suspendu Q,

Le poids mort suspendu Q',

Le poids moyen du câble par mètre courant, P,

La profondeur du puits H,

Le rayon initial d'enroulement r,

Le rayon final d'enroulement R ;

Soient p la pression absolue de la vapeur d'admission, p' la contre-pression derrière le piston, exprimées en kilogrammes par centimètre carré, d le diamètre des cylindres exprimé en centimètres, L la course des pistons exprimée en mètres.

Pour que la machine puisse enlever la charge Q + Q' + PH, l'une des manivelles étant au point mort, il faut que l'on ait :

$$K(p-p')\pi \frac{d^2}{4}\frac{L}{2} > (Q+Q'+PH)\,r, \qquad (1)$$

K étant un coefficient de réduction qui tient compte des résistances passives, telles que les frottements des diverses pièces, la roideur des cordes, etc.

§ 3. — On a fait aux mines de Ronchamp des expériences pour déterminer la grandeur du coefficient K, quand la machine est en pleine marche. On a relevé, au moyen d'un indicateur à marche continue, les diagrammes de la pression sur l'une des faces de l'un des pistons pendant deux cordées successives et on en a déduit le travail brut de la vapeur sur les pistons, ou travail indiqué $\mathfrak{E}_i$. Le poids de la houille extraite dans les deux cordées multiplié par la profondeur de l'accrochage a donné le travail utile $\mathfrak{E}_u$. En opérant de cette façon, on a éliminé les causes

d'erreur provenant d'une appréciation erronée du poids des câbles et des cages. On a pu ainsi déterminer le rapport du travail utile au travail indiqué, ou le rendement de la machine.

Trois expériences différentes ont donné pour le rapport $\frac{\mathfrak{T}_m}{\mathfrak{T}_u}$ 69,3, 70 et 72 p. 100.

Le travail absorbé par les résistances passives varie donc entre 30,7 et 28 p. 100 du travail indiqué.

Des expériences du même genre exécutées sur la machine Sulzer du puits Campagne au charbonnage de Sacré-Madame à Dampremy (Belgique), ont donné 70,4 et 76,8 p. 100.

Enfin au charbonnage de Monceau-Fontaine, on est arrivé à 78,2 p. 100.

§ 4. — Les chiffres ainsi obtenus donnent le rendement des machines en pleine marche. Au départ quand la vitesse est nulle ou très-faible, les résistances passives sont moins considérables que quand la machine est en vitesse et je pense que l'on peut adopter pour le coefficient K tel qu'il a été défini ci-dessus le chiffre de 80 p. 100, qui est du reste généralement adopté.

L'inégalité (1) devient donc :

$$0{,}10(p-p')\pi d^2 L > (Q+Q'+PH)r.$$

Ordinairement $p-p'=4$ kilog., la contre-pression au départ étant égale à la pression atmosphérique.

Il vient donc finalement :

$$d^2L > 0{,}796(Q+Q'+PH)r,$$

ou en chiffres ronds

$$d^2L > 0{,}8(Q+Q'+PH)r. \qquad (2)$$

Le tableau suivant donne les dimensions d'un certain nombre de machines d'extraction à deux cylindres conjugués et les conditions dans lesquelles elles fonctionnent.

NOMS des charbonnages.	NOMS des puits.	MACHINES.			Profondeur du dernier accrochage H.	Rayon initial d'enroulement r.	Rayon final d'enroulement R.	CABLES.				
		Diamètre des cylindres d.	Course des pistons L.	d^2L.				Nature.	Longueur totale.	Poids total.	Poids moyen par mètre P.	Épaisseur moyenne.
									mèt.	kilog.	kilog.	mèt.
Ronchamp.	St-Joseph.	75,4	2,00	11.370	370	1,27	2,535	Aloès.	450	5.400	12,00	0,0445
					420	1.485	2,845	Aloès.	550	5.800	10,54	0,0444
	Éboulet.	70.6	2,00	9.983	562	1,40	3,06	Aloès.	»	»	10,28	0,041
	Magny.	85.0	1,80	13.005	700	1,20	3,20	Aloès.	»	»	10,56	0,040
Anzin.	Ste-Pauline.	66.0	2,00	8.712	542	1.325	2,289	Fer.	»	»	11.00	0,0292
	Réussite.	60.0	1,80	6.480	516	1.24	2,10	Fer.	600	5.490	9,15	0,0172
	Villars.	60,0	1,80	6.480	348	1,60	2 10	Fer.	500	3.317	6,634	0,0166
Sacré-Madame.	P. Campagne.	100,0	1,80	18.000	800	1,80	3,49	Aloès.	»	»	9,250	0,035
Monceau-Fontaine.	P. n° 17.	95.0	1,30	11.732	498	1,25	2,95	Aloès.	»	»	8,00	0.045
Escarpelle.	P. n° 4.	66 0	1,80	7.841	346	2,30	3,11	Aloès.	»	»	7,00	0,040
Seraing.	Caroline.	60,0	1,20	4.320	341	0.80	2,08	Aloès.	360	2.411	6,70	0.0337
Espérance.	Morchamp.	82,5	1.25	8.507	425	1,45	2.575	Aloès.	»	»	9,20	0,0335
Bayemont.	St Henri.	85,0	1.80	13.005	668	1.20	3,000	Aloès.	700	7.770	11,10	0,0355
	St-Charles.	85,0	1.80	13.005	707	1,04	2,470	Acier.	850	7.900	9,29	0,0230

(*) La pression disponible est, en réalité, de $4^k,5$ et non de 4 kilog. On doit, dans ce cas, ...

Un certain nombre de ces machines ne satisfont pas à la condition exprimée par l'inégalité (2), probablement parce qu'elles ont été calculées pour des profondeurs moindres que celles que les puits ont atteintes depuis leur établissement. Les autres appartiennent pour la plupart à des installations récentes.

§ 5. — Les calculs précédents s'appliquent aux machines d'extraction à deux cylindres conjugués dont la distribution est réglée sans avance ni détente fixe. Quand la distribution se fait par des tiroirs à recouvrement mus par des excentriques calés avec un certain angle d'avance, l'admission maximum ne peut avoir lieu pendant toute la course, et elle est alors ordinairement de 80 p. 100 de cette course. Dans ce cas la position la plus défavorable pour la mise en marche se présente quand l'un des pistons se trouve à 80 p. 100 de sa course, le tiroir recouvrant

…AGES.			MOMENTS EFFECTIFS				OBSERVATIONS.
… des wagons.	Charge utile Q.	0,8[Q + Q' + PH]r.	à l'enlevage (cage au fond suspendue).	à la rencontre des cages.	à l'arrivée au jour (cage du fond suspendue).	Différence entre les moments extrêmes.	
kilog.	kilog.						
760	1.800	10.142	4.286 6.821	2 829 4.497	421 3.120	3 862 3 701	Machines à tiroirs avec avance et recouvrement.
1.200	2.000	12.014	5.991	4.460	2.929	3.062	Machine à détente Andemar.
5	2.285	11.558	6.880	5.027	3.174	3.706	Machine à tiroirs avec avance et recouvrement.
1.020	1.800	11.005	7.759	3.253	—1.254	9.013	Idem.
1.080	1.800	9.424	5.523	3.006	489	5.034	Machine à tiroirs sans avance ni recouvrement.
1.080	1.800	8.367	5.359	3.330	1.301	4.058	Idem.
0	2.500	19.152 (*)	12.074	6.612	1.151	10.923	Machine à soupapes, détente Sulzer.
1.000	2.000	9.952	3.684	6.800	8.916	5.232	Machine à détente Scohy et Crespin.
880	1.800	12.331	7.702	4.869	2.036	3 666	Distribution avec robinets réglée pour la pleine admission.
654	1.280	4.116	830	1.814	2.799	3 629	Machine à soupapes, détente Andemar-Kraft.
668	1.600	8.579	6.074	3.381	688	6.386	Idem.
1.524	2.550	13.333	4.895	5.355	5.815	920	»
1.400	2.550	10.581	4.334	4.475	4.616	283	»

(*) … $> 0,71(Q + Q' + PH)r$ ou $d^2L > 16.997$, condition qui est effectivement remplie.

alors l'orifice d'admission et l'autre manivelle s'écartant de la verticale d'un angle correspondant.

Appelons $\frac{1}{a}$ la fraction de la course totale L parcourue par le premier piston pendant l'admission, l la longueur de la bielle. Un calcul très-simple montre qu'à cet instant la distance du bouton de l'autre manivelle à l'horizontale passant par l'arbre, c'est-à-dire le bras de levier de la force agissante, est représentée par l'expression

$$\frac{L^2 + 4\left[L\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2}\right) + l\right]^2 - 4l^2}{8\left[L\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2}\right) + l\right]}.$$

Si $l = \infty$, cette expression devient $L\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2}\right)$.

Ordinairement on fait $l = 2,25\,L$ dans les grosses machines, et l'on a $\frac{1}{a} = 0,80$. L'expression ci-dessus devient alors égale à $0,331\,L$.

Pour que l'enlevage pût se faire dans les conditions énoncées plus haut, il faudrait donc que l'on eût

$$K(p-p')\pi\frac{d^2}{4}L.0,331 > (Q+Q'+PH)r, \quad (3)$$

faisant $K = 0,80$, $p-p' = 4$, on trouve

$$d^2L > 1,20(Q+Q'+PH)r. \quad (4)$$

Si l'on s'astreignait à satisfaire à l'inégalité (4), on serait conduit à donner aux cylindres des dimensions exagérées. Mais il faut remarquer que l'hypothèse où nous nous sommes placés, celle de la marche avec un seul câble, n'est jamais réalisée que tout à fait exceptionnellement, et que l'on pourra toujours, dans ce cas, opérer l'enlevage en faisant faire à la machine un quart de tour au maximum en arrière, et en repartant de cette nouvelle position qui permet de remplir de vapeur le cylindre dont le piston est le plus voisin du point mort.

Ce qui importe, c'est que dans la marche courante, la machine puisse repartir dans toutes les positions.

Quand le puits est profond, le moment maximum, en marche normale, a lieu à l'enlevage.

On se contente donc, quand la distribution est réglée avec avance et recouvrement, de calculer les dimensions de la machine, de manière qu'elles satisfassent largement à la condition

$$d^2L > 1,20\,\mathfrak{M}. \quad (5)$$

$\mathfrak{M}$ étant le moment maximum en service.

La condition exprimée par l'inégalité (5) est amplement

remplie par les machines des puits Saint-Joseph, Éboulet et Magny de Ronchamp : elle ne l'est point par celle du puits Sainte-Pauline. En ce qui concerne ce dernier, l'insuffisance de sa machine tient moins à ses dimensions, d'ailleurs un peu faibles, qu'à l'emploi des câbles en fer dont la faible épaisseur ne permet pas une régularisation convenable des moments et fournit un rayon final d'enroulement trop faible, et par suite, à l'enlevage, un moment maximum très-élevé.

§ 6. — *Machines à un cylindre.* — Les machines à un cylindre et à engrenages sont encore souvent employées pour l'extraction dans les mines peu profondes ; elles coûtent moins cher que les machines à deux cylindres, mais elles ont l'inconvénient d'avoir des points morts, et, par conséquent, de ne pouvoir enlever la charge dans toutes les positions. On se donne, pour calculer leurs dimensions, la condition qu'elles puissent encore vaincre le moment maximum qu'elles ont à surmonter en service, quand le piston est parvenu à une fraction déterminée de sa course. Soit $\frac{1}{a}$ cette fraction : on voit facilement qu'en négligeant l'influence de l'obliquité de la bielle, le bras de levier de la force motrice est $L\sqrt{\frac{1}{a}-\frac{1}{a^2}}$; l'angle correspondant de la manivelle γ est donné par la relation $\cos\gamma = 1 - \frac{1}{a}$. En appelant $\frac{1}{E}$ le rapport des engrenages et conservant les notations précédentes, on doit avoir :

$$K(p-p')\pi\frac{d^2L}{4}\sqrt{\frac{1}{a}-\frac{1}{a^2}} > \frac{1}{E}\Big[(Q+Q'+PH)r-Q'R.\Big]$$

Faisons $K = 0{,}75$, à cause des engrenages,

$$p-p' = 4.\quad \gamma = 10^\circ,\quad \frac{1}{a} = 0{,}008,$$

il vient :

$$d^2L > \frac{1}{0,210E}[(Q+Q'+PH)r-Q'R]. \quad (6)$$

Si d^2L est déterminé *à priori*, la fraction de la course du piston pendant laquelle la machine ne pourra faire l'enlevage au départ est donnée par l'équation :

$$\sqrt{\frac{1}{a}-\frac{1}{a^2}}=\frac{(Q+Q'+PH)r-Q'R}{2,356Ed^2L}. \quad (7)$$

§ 7. — Soit, par exemple,

$E=3$; $Q=800$; $Q'=1.000$; $P=2^k,50$; $H=250$; $r=0^m,871$; $R=1^m,31$.

(conditions d'établissement de deux machines d'extraction construites par la société de constructions mécaniques d'Anzin pour les mines de plomb de Berlanga (Espagne); l'inégalité 6 donne :

$$d^2L > 1273.$$

On a fait $d=0^m,40$ $L=0^m,80$, ce qui donne $d^2L=1280$.

Ainsi, dans ces machines, l'enlevage peut avoir lieu dans toutes les positions du piston, sauf quand celui-ci se trouve à moins de 0,008 de l'extrémité de sa course ; l'angle mort est de 20°.

Citons encore l'exemple des deux machines horizontales à un cylindre et à engrenages du puits du Ravin, à la Grand'Combe. Le puits est divisé en deux compartiments qui fonctionnent chacun comme un puits indépendant. Par suite du système d'exploitation adopté à la Grand'-Combe, les wagons vides ne redescendent pas dans la mine par le puits d'extraction : ils rentrent, chargés de remblais, dans les travaux par des plans inclinés ou des balances sèches. Il résulte de là que le poids utile élevé par la machine, et que nous avons appelé Q dans nos notations pré-

cédentes, se compose ici du poids du charbon augmenté du poids des wagons vides. Les bennes sont accrochées les unes au-dessous des autres à un étrier guidé par deux câbles en fer. On a pour ces deux machines :

		N° 1.	N° 2.
Machines	Diamètre du cylindre d	55^{cm}	80^{cm}
	Id. de la tige du piston	$8,5^{cm}$	12^{cm}
	Course des pistons L	$1^m,00$	$1^m,00$
	Rapport des engrenages	$\frac{22}{47}$	$\frac{22}{47}$
	d^2L	3.025	6.400
Profondeur du dernier accrochage H		105^m	185^m
Rayon initial d'enroulement r		$1^m,20$	$1^m,50$
Rayon final d'enroulement R		$1^m,21$	$1^m,50$
Câbles ronds en fil de fer, non diminués	Poids par mètre courant	4^k	4^k
	Diamètre	$0^m,04$	$0^m,04$
	Nombre de tours	13,07	20,7
Charges	Poids de l'étrier en fer Q'	550^k	550
	Poids des cinq bennes } Q	750^k	750 } 2.500
	Poids du charbon élevé } Q	1.750^k	1.750 } 2.500
Moments effectifs	à l'enlevage	3.482	4.860
	à la rencontre des cages	3.050	3.750
	à l'arrivée au jour	2.618	2 640
	Différence entre les moments extrêmes	864	2.220

L'équation (7) donne :

Pour la machine n° 1, $\frac{1}{a} = 0,056$; l'angle correspondant de la manivelle $\gamma = 27°$.

Pour la machine n° 2, $\frac{1}{a} = 0,024$; l'angle correspondant de la manivelle $\gamma = 18°$.

La machine n° 1 est donc trop faible, puisqu'elle donne un angle mort de 54°, soit des 30 centièmes de la demi-circonférence correspondant à une course.

§ 8. — Des considérations qui viennent d'être exposées, il résulte que les machines d'extraction ont en général une puissance bien supérieure à celle qui serait strictement nécessaire pour vaincre le moment maximum qu'elles ont à surmonter en service. De plus, pendant la durée d'une cordée, qui n'est guère que de 1 à 2 ou 3 minutes ce moment lui-même, et par suite le travail que la machine doit

effectuer, varient dans des limites d'autant plus étendues que la régularisation des efforts obtenue par les bobines ou les tambours est moins parfaite.

Les machines d'extraction travaillent donc en général dans des conditions peu favorables à la bonne utilisation de la vapeur. Nous allons examiner quelle est cette utilisation suivant le mode de distribution adopté.

CHAPITRE II.

DISTRIBUTION A PLEINE PRESSION SANS DÉTENTE.

§ 9. — La plupart des machines à deux cylindres conjugués qui fonctionnent en France et en Belgique, ont une distribution par tiroirs; quelques-unes (machines du Grand-Hornu, de l'Escarpelle), ont une distribution par robinets à boisseau. Depuis quelques années seulement l'emploi de la détente variable par le système Audemar-Kraft ou par le système Sulzer a conduit à l'adoption des soupapes, usitées depuis longtemps en Westphalie. Toutes ou presque toutes les distributions par tiroirs ou par robinets sont mues par des excentriques commandant des coulisses de Stephenson ou de Gooch. Ordinairement les excentriques sont calés sur l'arbre avec un angle d'avance très-faible, et les tiroirs n'ont qu'un recouvrement insignifiant n'ayant d'autre objet que d'empêcher la communication au-dessus du tiroir des deux lumières d'admission, en cas d'usure des pièces.

Le mécanicien marche toujours avec la coulisse à fond de course; il n'y a ni avance à l'admission, ni avance à l'échappement; l'admission comme l'échappement ont lieu pendant toute ou presque toute la course. Le mécanicien, pour régler la vitesse de sa machine, n'a d'autre moyen à sa disposition que de fermer progressivement son régulateur, de manière à diminuer la pression d'admission.

§ 10. — Soient p la pression variable de la vapeur introduite dans le cylindre, p' la contre-pression, $\mathfrak{M}$ le moment variable de la résistance, d le diamètre du piston, d' le diamètre de la tige du piston et de la fausse tige, p et p' sont exprimés en kilogrammes par centimètre carré, d et d' en centimètres.

Enfin désignons par K' le rendement de la machine, c'est-à-dire le rapport entre le travail utile effectué et le travail brut développé sur les pistons.

Le travail utile par tour est égal à $2\pi\mathfrak{M}$.

Le travail absorbé par les résistances passives est une fraction du travail utile représentée par l'expression $\frac{1-K'}{K'}$, et le travail total des résistances passives par cordée sera égal à $\frac{1-K'}{K'}.QH$. On peut admettre que les résistances passives restent sensiblement les mêmes pendant toute la durée de la cordée, de sorte que le travail de ces résistances par tour sera égal à $\frac{1-K'}{K'}\frac{QH}{M}$, M étant le nombre total de tours, et comme $M=\frac{H}{\pi(R+r)}$, on voit que l'expression du travail absorbé par les résistances passives à chaque tour est $\frac{1-K'}{K'}\pi(R+r)Q$.

Le travail de la vapeur par tour est $\pi(d^2-d'^2)L(p-p')$, pour les deux cylindres.

Pour que la vitesse soit uniforme, il faut que la pression p satisfasse à chaque instant à la relation :

$$\frac{1-K'}{K'}(R+r)Q+2\mathfrak{M}=(d^2-d'^2)L(p-p'),$$

ou

$$p=p'+\frac{2\mathfrak{M}+\frac{1-K'}{K'}(R+r)Q}{(d^2-d'^2)L}. \qquad (8)$$

D'après les expériences relatées au § 3, la valeur du coefficient K' est comprise entre 0,693 et 0,786; on peut admettre le chiffre moyen de 0,72. On a donc $\frac{1-K'}{K'}=0,39$ et l'équation (8) devient :

$$p=p'+\frac{2\mathfrak{F}+0,39(R+r)Q}{(d^2-d'^2)L}. \qquad (8')$$

Dans une machine de ce genre, la contre-pression p' diminue naturellement avec la pression d'admission, mais elle est toujours très-considérable. Comme il n'y a pas d'avance à l'échappement, la lumière d'échappement commence à peine à se découvrir au moment où le piston est à fond de course et retourne en arrière, et la vapeur, ne trouvant pour s'écouler qu'un orifice insuffisant, donne une contre-pression très-élevée, qui reste pendant toute la course bien supérieure à la pression atmosphérique.

Ce qui augmente encore la contre-pression dans les machines à pleine admission, c'est que les constructeurs sont conduits à faire les orifices d'admission et d'échappement très-étroits, afin de diminuer la surface des tiroirs et par suite l'effort que doit exercer le mécanicien pour manœuvrer le levier de changement de marche.

Lorsque les machines ainsi construites avec des lumières très-réduites et des tiroirs réglés sans avance, marchent à grande vitesse, les contre-pressions sont énormes, et c'est uniquement à vaincre cette résistance, en quelque sorte artificielle, qu'est employée la plus grande partie de la vapeur fournie par la chaudière.

La valeur de la contre-pression dépend naturellement de celle de la pression, et on peut écrire

$$p'=1,033+\beta p.$$

Si on remplace p' par cette expression dans l'équation (8) celle-ci devient

$$p = \frac{1,033}{1-\beta} + \frac{2\mathfrak{M} + \frac{1-K'}{K'}(R+r)Q}{(1-\beta)(d^2 - d'^2)L}. \qquad (9)$$

D'après les expériences faites à Ronchamp sur la machine du puits d'Éboulet, et dont nous parlerons plus bas, la contre-pression moyenne est égale à $1,033 + 0,359\,p$.

Remplaçant p' par cette valeur dans l'équation (8)', celle-ci devient

$$p = 1,611 + \frac{2\mathfrak{M} + 0,39(R+r)Q}{0,641(d^2 - d'^2)L}. \qquad (10$$

§ 11. — Le poids de vapeur consommé par coup de piston est égal : 1° au poids de vapeur Π_0 présent dans le cylindre au moment où commence l'échappement, moins celui qu se trouvait dans l'espace nuisible au commencement de l'admission ; nous nommerons cette vapeur vapeur sensible ;

2° au poids Π_1 de la vapeur qui s'est condensée sur les parois du cylindre refroidies pendant la période d'échappement qui précède la période d'admission.

Le poids de vapeur sensible est

$$\Pi_0 = \left(\frac{\pi(d^2 - d'^2)L}{40.000} + v\right)\delta - v\delta',$$

v étant le volume de l'espace nuisible, δ et δ', la densité de la vapeur correspondant aux pressions p et p'.

On peut avec M. Zeuner (*Théorie mécanique de la chaleur*), représenter la densité δ par la formule empirique

$$\delta = 0,58768\,p^{0,9393}.$$

Le poids de vapeur sensible a donc pour expression

$$\Pi_0 = 0,58768\left[\left(\frac{\pi(d^2 - d'^2)L}{40.000} + v\right)p^{0,9393} - vp'^{0,9393}\right],$$

ou bien, en remplaçant p' par $1,033+\beta p$ et en posant :

$$v = \alpha\frac{\pi(d^2 - d'^2)L}{40.000}.$$

$$\left.\begin{array}{l}\Pi_0 = 0,00004616(d^2 - d'^2)L[(1+\alpha)p^{0,9393} - \\ \quad - \alpha(1,033+\beta p)^{0,9393}]\end{array}\right\} \quad (11)$$

Si l'on suppose, comme nous l'avons fait précédemment, que $\beta = 0,359$, on trouve :

$$\left.\begin{array}{l}\Pi_0 = 0,00004616(d^2 - d'^2)L[(1+\alpha)p^{0,9393} - \\ \quad - \alpha(1,033+0,359p)^{0,9393}].\end{array}\right\} \quad (11)$$

On n'a point fait jusqu'ici d'expérience pour déterminer directement le poids de vapeur qui se condense intérieurement pendant l'admission dans des machines sans détente.

Les recherches que j'ai faites sur la condensation de la vapeur à l'intérieur des cylindres, et dont les éléments ont été publiés dans les *Annales des mines* (*), m'ont conduit à admettre que, dans les limites de pression et de vitesse entre lesquelles fonctionnent les machines d'extraction, cette quantité Π est représentée avec une certaine approximation par la formule empirique

$$\Pi_1 = 0,0065\, pS\sqrt{p - p'}. \quad (12)$$

dans laquelle p et p' sont les pressions absolues d'admission et d'échappement exprimées en kilogrammes par centimètre carré ; S, la surface métallique totale exposée au contact de la vapeur d'admission à l'intérieur du cylindre et dans les conduits de vapeur compris entre la glace du tiroir et le cylindre ; S est exprimée en mètres carrés et est égale à

$$\frac{\pi(d^2 - d'^2)}{20.000} + \frac{\pi(d+d')\frac{L}{a}}{100} + \sigma,$$

(*) 3e livraison de 1877.

$\frac{L}{a}$ étant le chemin parcouru par le piston pendant l'admission, σ la surface des conduits de vapeur.

Dans le cas particulier où l'admission a lieu pendant toute la course, la pression d'échappement p' étant égale à $1{,}033+\beta p$, on a

$$\Pi_1 = 0{,}0065\,pS\sqrt{(1-\beta)p-1{,}033}.$$

Le poids total Π de vapeur consommée par coup de piston est

$$\left.\begin{aligned}\Pi = 0{,}0000461\,6(d^2-d'^2)L[(1+\alpha)p^{0,9393}-\alpha(1{,}033+\beta p)^{0,9393}]+\\ +\,0{,}0065\,pS\sqrt{(1-\beta)p-1{,}033}.\end{aligned}\right\}\ (13)$$

et si l'on fait $\beta = 0{,}359$

$$\left.\begin{aligned}\Pi = 0{,}0000461\,6(d^2-d'^2)L[(1+\alpha)p^{0,9393}-\alpha(1{,}033+0{,}359p)^{0,9393}]+\\ +\,0{,}0065\,pS\sqrt{0{,}641p-1{,}033}.\end{aligned}\right\}\ (13')$$

Pour trouver la quantité totale de vapeur consommée par cordée, nous remarquerons que, si l'on construit une courbe ayant pour ordonnées les poids de vapeur consommés par coup de piston et pour abscisses les nombres de coups de piston, la surface de cette courbe sera précisément égale à la quantité cherchée. Or cette surface est égale à $\int_0^M \Pi\, d\mu$, en désignant par μ le nombre des coups de piston qui varie de 0 à M.

D'un autre côté, la variation des moments par coup de piston $\Delta\mathfrak{M}$ est sensiblement proportionnelle au nombre des coups de piston. On sait, en effet, qu'en construisant la courbe des moments par rapport au nombre des coups de piston, on obtient une courbe symétrique par rapport à son milieu qui représente le moment moyen et subissant une inflexion en ce point. Cette ligne courbe s'écarte très-peu de la ligne droite qui joint les points représentant les mo-

ments extrêmes, de sorte que l'on peut écrire avec une approximation suffisante :

$$\left.\begin{array}{l}\mathfrak{M} = \mathfrak{M}_0 - \dfrac{\mathfrak{M}_0 - \mathfrak{M}_r}{M}\mu = (Q + Q' + PH)r - Q'R - \\ \qquad - \dfrac{2PHr - (Q + 2Q')(R - r)}{M}\mu.\end{array}\right\} \quad (14)$$

$\mathfrak{M}_0$ et $\mathfrak{M}_1$ étant les moments extrêmes, l'un au départ, l'autre à l'arrivée.

Remplaçant $\mathfrak{M}$ par cette valeur dans l'équation (9), on obtient une équation de la forme

$$p = A - B\mu,$$

dans laquelle A et B sont des constantes.

Cette équation donne : $d\mu = -\dfrac{dp}{B}$, et par suite :

$$\int_0^M \Pi d\mu = \int_{p_1}^{p_0} \frac{\Pi dp}{B}.$$

Remplaçant Π par sa valeur tirée de l'équation (13), et effectuant l'intégration qui ne présente aucune difficulté, on obtient la valeur de $\Sigma\Pi$.

$$\Sigma\Pi = \frac{0,00002308(1-\beta)(d^2-d'^2)^3L^2M}{2PHr-(Q+2Q')(R-r)}\left[(1+\alpha)\frac{p_0^{1,9393}-p_1^{1,9393}}{1,9393} - \alpha\frac{(1,033+\beta p_0)^{1,9393}-(1,033+\beta p_1)^{1,9393}}{1,9393\beta}\right] + \frac{0,00043(d^2-d'^2)SM}{(1-\beta)[2PHr-(Q+2Q')(R-r)]}\left\{[(1-\beta)p_0-1,033]^{\frac{3}{2}}[3(1-\beta)p_0+2,066] - [(1-\beta)p_1-1,033]^{\frac{3}{2}}[3(1-\beta)p_1+2,066]\right\}.$$

On a d'ailleurs :

$$p_0 = \frac{1,033}{1-\beta} + \frac{2(Q+Q'+PH)r - 2Q'R + \dfrac{1-K'}{K'}(R+r)Q}{(1-\beta)(d^2-d'^2)L},$$

et

$$p_1 = \frac{1,033}{1-\beta} + \frac{2(Q+Q')R - 2(Q'+PH)r + \dfrac{1-K'}{K'}(R+r)Q}{(1-\beta)(d^2-d'^2)L}.$$

Si l'on fait $\beta = 0,359$, $K' = 0,72$, ces équations deviennent :

$$\Sigma\Pi = \frac{0,0000147 6(d^2 - d'^2)^2 L^2 M}{2PHr - (Q + 2Q')(R - r)} \left[(1 - \alpha) \frac{p_0^{1,9393} - p_1^{1,9393}}{1,9393} - \frac{(1,033 + 0,359 p_0)^{1,9393} - (1,033 + 0,359 p_1)^{1,9393}}{0,6962} \right] + \frac{0,00067 (d^2 - d'^2) SM}{2PHr - (Q + 2Q')(r - R)} \left\{ (0,641 p_0 - 1,033)^{\frac{3}{2}} (1,923 p_0 + 2,066) - (0,641 p_1 - 1,033)^{\frac{3}{2}} (1,923 p_1 + 2,066) \right\}. \quad (15)$$

et

$$p_0 = 1,611 + \frac{(2,39Q + 2Q' + 2PH)r - (2Q' - 0,39Q)R}{0,641(d^2 - d'^2)L},$$

$$p_1 = 1,611 + \frac{(2,39Q + 2Q')R - (2Q' - 0,39Q + 2PH)r}{0,641(d^2 - d'^2)L}.$$

L'équation (15) étant d'un calcul laborieux, on peut opérer plus simplement, mais avec une approximation moins satisfaisante, en déterminant la pression moyenne p par l'équation (9), dans laquelle on fera $\mathfrak{M}$ égal au moment moyen $(R + r)\frac{Q}{2}$, et le poids moyen de vapeur consommée à chaque coup de piston, par l'équation (13), dans laquelle on fera p égal à la pression moyenne.

Le produit de ce poids moyen par le nombre des coups de piston donnera approximativement la dépense totale de vapeur.

Dans ce cas on a :

$$p = \frac{1,033}{\beta} + \frac{(R + r)Q}{K'(d^2 - d'^2)L(1 - \beta)}, \quad (16)$$

et si l'on fait $K' = 0,72$, $\beta = 0,359$:

$$p = 1,611 + \frac{(R + r)Q}{0,461(d^2 - d'^2)L}. \quad (16')$$

La densité de la vapeur est proportionnelle à $p^{0,9393}$, dont l'exposant diffère peu de l'unité; elle est donc approximativement proportionnelle à p, et le poids de vapeur sen-

sible consommé par coup de piston est à peu près proportionnel à la quantité $(d^2 - d'^2)Lp$.

Le travail effectué par kilogramme de vapeur sensible est donc approximativement représenté par l'expression

$$\frac{A(R+r)Q}{p(d^2-d'^2)L},$$

dans laquelle A est une constante.

L'équation (16') donne

$$\frac{A(R+r)Q}{p(d^2-d'^2)L} = 0{,}461A\left(1-\frac{1.611}{p}\right),$$

c'est-à-dire que le travail effectué par kilogramme de vapeur sensible varie à peu près comme l'expression $1 - \frac{1.611}{p}$: il augmente à mesure que p augmente et diminue quand p diminue.

Pour $p=2$, 3, 4 et 5 kilog., le travail par kilogramme de vapeur sensible sera à peu près proportionnel aux nombres 1, 2,3, 3 ou 3,4.

La condensation intérieure modifie ces résultats, sans en changer le sens.

Comme d'un autre côté, pour un même travail à effectuer, la pression d'admission p dépend des dimensions des cylindres, et qu'elle diminue quand celles-ci augmentent, on voit que la distribution à pleine admission donnera des résultats d'autant plus défavorables que les dimensions des cylindres seront plus grandes par rapport au travail à effectuer. Il y a donc avec ce genre de machines un très-grand avantage à diminuer autant que possible le moment maximum en service, puisque c'est de ce moment maximum que dépendent les dimensions des cylindres.

§ 12. — Comme exemple des résultats économiques fournis par les machines marchant à pleine admission, nous donnons les diagrammes nos 1, 2, 3, 4, 5 et 6 (*fig.* 1, 2, 3,

4, 5 et 6, Pl. VI), qui ont été relevés en 1874, par M. l'ingénieur Elliot, sur les machines d'extraction des puits d'Éboulet et Saint-Joseph, des houillères de Ronchamp. Les éléments principaux de ces machines sont les suivants :

	ÉBOULET.	SAINT-JOSEPH.
Noms des constructeurs	A. Kœchlin (1867).	Le Creusot (1854).
Diamètre des cylindres	0,706	0.754
Diamètre des tiges	0,100	0.100
Course des pistons	2.000	2.000
Volume décrit par les pistons	767^{l}.234	877^{l}.316
Volume de l'espace nuisible	25^{l}.930	28^{l}.774
Volume total	793^{l},164	906^{l},090
Section des lumières d'admission	250^{mm} — 45^{mm}	274^{mm} — 39^{mm}
Rapport de cette section à la surface des pistons	$\frac{1}{34}$	$\frac{1}{41}$
Section des lumières d'échappement	250^{mm} — 70^{mm}	274^{mm} — 60^{mm}
Rapport de cette section à la surface des pistons	$\frac{1}{22}$	$\frac{1}{27}$
Course du tiroir	90^{mm}	100^{mm}
Recouvrement extérieur	5^{mm}	3^{mm}
Recouvrement intérieur	4^{mm},5	0
Genre de la coulisse	Stephenson (barres croisées).	Stepenson (barres ouvertes).
Angle de calage des excentriques	6° 53'	6° 30'
Longueur des barres d'excentrique	4^{m},000	3^{m},80

De ces éléments résultent pour la distribution les chiffres suivants, obtenus au moyen du diagramme de Zeuner, en négligeant l'effet de l'obliquité de la bielle :

	ÉBOULET.	SAINT-JOSEPH.
Admission	98,5 p. 100	98,6 p. 100
Détente	1,5 —	1,0 —
Échappement anticipé	0,0 —	0,4 —
Échappement	99,0 —	99,6 —
Compression	1,0 —	0,4 —
Admission anticipée	0,0 —	0,0 —

Ces machines avaient donc une distribution réglée pour donner l'admission à peu près entière pendant toute la course.

Les *fig.* n°s 1 et 2, 4 et 5 (Pl. VI), représentent la marche de la pression, de la contre-pression et de la pression résultante pendant quatre cordées. Les deux premières se rap-

partent à la machine d'Éboulet, la seconde à la machine de Saint-Joseph.

On a relevé pendant quatre excursions complètes des cages, au moyen de l'indicateur Dehennault, le diagramme du travail sur une face de l'un des pistons; on en a déduit pour chaque coup de piston la pression et la contre-pression moyennes, qui forment les ordonnées des courbes tracées en traits pointillés; les abscisses donnent le nombre des tours de la machine. Enfin la courbe des pressions résultantes, marquée par un trait plein, est obtenue en prenant des ordonnées égales à la différence des ordonnées des deux courbes précédentes.

La surface comprise entre les différentes courbes et les axes de coordonnées, divisée par la longueur de l'abscisse finale, proportionnelle au nombre de tours, donne la pression, la contre-pression et la pression résultante moyennes. On en déduit facilement le travail total de la vapeur par cordée.

On remarquera que, dans les diagrammes nos 1, 2 et 4, la pression résultante moyenne devient négative vers la fin de la course. Ce fait a lieu d'abord parce que le régulateur étant fermé et la machine continuant à marcher, il se produit un certain vide derrière le piston, ensuite parce que, dans les trois ou quatre derniers tours, le mécanicien donne un peu de contre-vapeur pour éteindre la vitesse.

Dans le calcul des pression et contre-pression moyennes, on n'a pas tenu compte des pressions négatives.

Enfin le poids total de vapeur consommée par cordée a été obtenu en additionnant les poids partiels de vapeur consommée par coup de piston, ceux-ci étant calculés directement au moyen des tables qui donnent les densités correspondant aux pressions observées.

Les *fig.* 5 et 6 représentent le diagramme des pressions pendant une course du piston au 18e tour. La première a été relevée sur la machine d'Éboulet, la seconde

sur celle de Saint-Joseph. On est frappé à première vue de l'énorme importance de la contre-pression par rapport à la pression, et l'on conçoit facilement combien doit être mauvaise l'utilisation de la vapeur dans de pareilles conditions.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

	[illegible]		SAINT-JOSEPH.	
	N° 1 (1).	N° 2 (2).	N° 4 (3).	N° 5 (4).
Nombre de tours des bobines	[illegible]	40,5	33	33
Pression de la vapeur aux chaudières, initiale	5k,500	»	3k,35	[illegible],00
Pression de la vapeur aux chaudières, en marche	5k,00	»	3k,25	»
Commencement de la fermeture du régulateur	[illegible] tour	32e tour	24e tour	28e tour
Fermeture complète du régulateur	26e tour	40e tour	27e tour	33e tour
Vitesse moyenne des cages dans le puits	[illegible]	6m,25	7m,00	7m,00
Pression absolue moyenne sur le piston	3k,623	3k,625	2k,449	3k,903
Contre-pression absolue moyenne	[illegible]	2k,461	[illegible]	3k,063
Rapport de la contre-pression absolue à la pression absolue moyenne $\frac{p'}{p}$	0,61	0,68	0,71	0,78
Rapport de la contre-pression effective à la pression absolue moyenne (β)	0k,325	0,394	0,341	0,520
Pression résultante moyenne	1k,41	1k,164	0k,559	0k,840
Travail brut total de la vapeur sur les pistons, travail indiqué	[illegible]	1.447.000kgm	719.700kgm	[illegible]078kgm
Poids de vapeur sensible consommée par cordée (kilog.)	[illegible]	241,90	[illegible]	251,24
Poids total de vapeur consommée par cordée (kilog.)	[illegible]	260,40	[illegible]	272,14
Travail brut d'un kilog. de vapeur (kilogrammètres)	6.856	5.556	4.213	3.584

(1) La cage part de l'accrochage de 515 mètres, poids de houille élevée 1.947 kilog.
(2) Cylindre gauche, face arrière ; la cage part de l'accrochage du fond, poids de houille élevée 1.810 kilog.
(3) Cylindre gauche, face avant ; la cage part de l'accrochage de 370 mètres.
(4) Cylindre de droite, face arrière ; la cage part de l'accrochage de 420 mètres.

La contre-pression moyenne varie depuis 61 jusqu'à 78 p. 100 de la pression moyenne, de sorte que les deux tiers environ de la vapeur consommée sont employés à vaincre la contre-pression. La contre-pression est même si considérable dans la machine de Saint-Joseph qu'on ne pouvait l'attribuer qu'à une usure des cylindres ou des bagues des pistons. Aussi a-t-on changé depuis lors les cylindres et la distribution de cette machine.

La machine d'Eboulet au contraire était sous ce rapport en bon état; et l'on peut admettre, en prenant la moyenne des deux premières expériences, que dans une machine d'extraction pourvue d'une distribution à tiroirs, sans avance ni recouvrement, et marchant à grande vitesse, la contre-pression moyenne s'élève à $1,033 + 0,359$ de la pression absolue moyenne.

Le travail brut sur les pistons ou travail indiqué d'un kilogramme de vapeur était en moyenne de 6.260 kilogrammètres dans les machines d'Eboulet et de 3.898 dans celle du puits Saint-Joseph, celle-ci, il est vrai, étant en mauvais état.

Le travail utile en houille élevée était par kilogramme de vapeur de 4.310 kilogrammètres à Eboulet, et de 2.729 kilogrammètres à Saint-Joseph.

Les charbons dont on se sert à Ronchamp, comme dans la plupart des mines de houille, pour le chauffage des chaudières, sont choisis parmi les qualités tout à fait inférieures et ne produisent pas plus de 5 à $5^k,5$ de vapeur par kilogramme de combustible brûlé (*).

Le poids de houille brûlée par cheval utile ressort ainsi :

à $\frac{1}{5}\frac{270.000}{4.310}$ ou $12^k,53$ à Éboulet

et à $\frac{1}{5}\frac{270.000}{2.729}$ ou $19^k,71$ à Saint-Joseph.

Pour élever 1.000 kilogrammes à 100 mètres de hauteur, on brûlait donc en 1874

$\frac{12,53}{2,7}$ ou $4^k,64$ à Éboulet

et $\frac{19,71}{2,7}$ ou $7^k,30$ à Saint-Joseph.

(*) De nombreuses expériences exécutées par la Société industrielle de Mulhouse ont montré que le rendement courant d'un ki-

§. 13. — Telles sont les consommations que l'on déduit de l'examen des diagrammes. En réalité, on brûle beaucoup plus de charbon que ne l'indiquent les chiffres ci-dessus, à cause de la discontinuité du travail des machines.

Pendant le jour, même quand l'extraction marche en plein, les arrêts ont une durée au moins égale à celle de la marche; pendant la nuit ils sont plus fréquents et surtout beaucoup plus prolongés. En fait, une machine qui extrait par jour 300 tonnes de 500 mètres de profondeur ne travaille pas plus de quatre heures sur vingt-quatre. Les pertes de chaleur provenant du refroidissement des tuyaux de conduite et des cylindres, des fuites, de l'entretien du feu, sont six fois plus considérables, relativement au poids de vapeur envoyée aux cylindres que dans une machine à mouvement continu.

La moyenne des six derniers mois de 1874, donne, pour l'extraction journalière du puits d'Eboulet :

157^{tonnes},5 de la profondeur de 517 mètres.
95^{tonnes},5 (y compris l'eau) de la profondeur de 562 mètres,

ce qui équivaut à 1.351 tonnes élevées à 100 mètres de hauteur.

On a fait en outre 22 cordées pour l'entrée et la sortie des hommes. En admettant que le travail positif de la montée soit égal au travail négatif de la descente, et que le travail résistant développé par la machine et les appareils soit le même que dans la marche ordinaire, c'est-à-dire soit de 434.000 kilogrammètres par cordée, on trouve que le travail demandé à la machine pour ces 22 cordées équivaut à un travail utile de 96 tonnes élevées à 100 mètres de hauteur.

---

logramme de houille marchande de Ronchamp est de 7^{k},50 de vapeur par kilogramme brûlé sur la grille. A la houillère on ne brûle aux chaudières que des boues de lavage et des charbons schisteux qui tiennent de 30 à 35 p. 100 de cendres.

On arrive ainsi à un travail total utile journalier de 1.447 tonnes élevées à 100 mètres de hauteur.

On a consommé en moyenne par jour 12.150 kilogrammes de mauvais charbon.

La quantité de combustible réellement brûlé aux chaudières est donc de $8^k,40$ par tonne élevée à 100 mètres.

On a vu au paragraphe précédent que la quantité de vapeur utilisée dans les cylindres pour effectuer ce travail de 100.000 kilogrammètres exige $4^k,64$ de charbon.

La quantité de combustible utilisé par jour est donc de $1447 \times 4,64$ ou 6.714 kilogrammes.

La quantité de charbon consommé pour faire face aux diverses pertes est de 12.150 — 6.714 ou 5.436 kilog., soit, en admettant que les pertes se répartissent à peu près également sur toute la journée, 227 kilogrammes par heure.

En résumé, on consommait dans les cylindres par tonne élevée à 100 mètres de hauteur (travail utile)	$23^k,20$ de vapeur.
On élevait en moyenne par heure, pendant le service de jour (8 h. de travail)	110^t à 100^m
On utilisait aux cylindres par heure $23,2 \times 110$ ou	2.552^k de vapeur.
Pendant le même temps, on consommait, pour les diverses pertes, 227×5 ou	1.135^k de vapeur.
Consommation totale de vapeur par heure de travail	3.687^k de vapeur.

La vapeur était fournie par une batterie de 6 chaudières à 3 bouilleurs, type Mulhouse, de $44^{mq},5$ de surface de chauffe chacune; il y avait 5 chaudières en feu, 1 en entretien.

La surface de chauffe employée était de $222^{mq},5$ ou $2^{mq},02$ par tonne élevée à 100 mètres en une heure.

La production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure était de $16^{kg},55$.

La production de vapeur équivalant aux diverses pertes était de 5 kilog. par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

§ 14. — Il est intéressant de vérifier si les chiffres donnés par les équations (13), (15) et (16), pour les poids de vapeur consommée par cordée, coïncident avec ceux que fournit l'expérience d'Éboulet et qui sont consignés dans le tableau du § 12.

Dans l'expérience n° 1, on partait de l'accrochage de 515 mètres; une partie du câble de la cage descendante était donc déjà dans le puits, tandis qu'une longueur correspondante du câble de la cage pleine était déjà enroulée sur la bobine. On ne se trouve donc pas dans les conditions admises aux §§ 10 et 11 pour le calcul de la pression et de la consommation de vapeur moyennes, et la comparaison ne peut se faire utilement qu'avec les résultats de l'expérience n° 2, dans laquelle la cage partait de l'accrochage du fond.

Pour comparer les résultats des formules avec ceux de l'expérience, il est nécessaire de prendre les coefficients fournis par cette expérience même pour le rapport de la contre-pression à la pression et le rapport du travail utile au travail indiqué.

En conséquence, nous ferons dans les formules (9), (15) et (16) :

$$K' = 0{,}700, \quad p' = 1{,}033 + 0{,}394\,p.$$

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

	NOMBRES observés.	NOMBRES CALCULÉS par la formule (16).	par la formule (15).
Pression absolue moyenne.	3k,625	3k,646	»
Contre-pression absolue moyenne. . . .	2k,461	2k,[illegible]	»
Pression résultante moyenne	1k,164	1k,174	»
Travail brut total de la vapeur (travail indiqué)	1.447.000kgm	1.459,000kgm	»
Poids total de vapeur sensible consommée par cordée	241k,90	245k,6	245k,1
Poids total de vapeur consommée par cordée.	260k,40	271k,70	262k,70
Travail brut par kilog. de vapeur. . .	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Travail utile par kilog. de vapeur. . . .	3.900kgm	3,769kgm	3.867kgm

Les différences entre les chiffres calculés et les chiffres observés sont très-faibles. Les nombres donnés par la formule (15) sont presque identiques avec ceux que fournit l'observation. Ceux que donne la formule (16) s'écartent peu des précédents, surtout pour le poids de vapeur sensible, et, comme cette formule est d'un calcul bien plus aisé, c'est celle que l'on peut adopter pour déterminer, *a priori*, la quantité de vapeur consommée par une machine d'extraction marchant sans détente.

CHAPITRE III.

DISTRIBUTION AVEC DÉTENTE FIXE.

§ 15. — On vient de voir que le travail brut de 1 kilog. de vapeur dans une machine sans détente est seulement de 6.206 kilogrammètres. La cause principale de ce faible rendement doit être cherchée dans l'énorme contre-pression qui se développe derrière le piston pendant l'échappement.

Pour obvier à ce grave défaut, la distribution par coulisse offre une ressource très-simple, qui est utilisée sur les locomotives, dont le mécanisme et les conditions de fonctionnement présentent avec ceux des machines d'extraction à deux cylindres conjugués les plus grandes analogies. Il consiste, comme chacun sait, à donner au tiroir un certain recouvrement et à caler les excentriques avec un angle d'avance en rapport avec ce recouvrement. On obtient alors une distribution dans laquelle la vapeur n'est admise que pendant une fraction de la course, et se détend ensuite. L'échappement s'ouvre un peu avant la fin de la course, de manière que la pression de la vapeur dans le cylindre est déjà notablement réduite au moment où le piston revient en arrière et où commence la période d'échappement. Celle-ci

se termine avant la fin de la course rétrograde du piston, et la vapeur se comprime dans l'espace nuisible jusqu'à une pression qui se rapproche plus ou moins de la pression d'admission. Enfin l'admission s'ouvre un peu avant la fin de la course rétrograde du piston : c'est ce que l'on nomme l'avance à l'admission.

Par l'action combinée de la détente et de l'avance à l'échappement, la contre-pression est réduite dans une forte proportion. Pendant la période de compression, l'espace nuisible se remplit de vapeur à une pression supérieure à celle de la pression d'échappement, ce qui diminue d'autant le poids de vapeur à fournir par la chaudière; enfin, grâce à l'avance à l'admission, la vapeur possède dès le début de la course la pression qu'elle doit avoir pendant toute la durée de l'admission.

Avec les mêmes éléments mécaniques, disposés seulement d'une façon différente, on augmente dans une grande proportion la force disponible des machines, tout en diminuant notablement la consommation de vapeur.

On peut calculer comme suit le travail effectué et le poids de vapeur consommé par coup de piston.

Quand un mélange de vapeur et d'eau se dilate dans un milieu imperméable à la chaleur, suivant une courbe adiabatique, c'est-à-dire sans addition ni soustraction de chaleur, la pression et le volume sont liés par une relation de la forme

$$PV^{\gamma} = P'V'^{\gamma},$$

dans laquelle la valeur de l'exposant γ ne dépend que des proportions relatives de l'eau et de la vapenr, et est généralement supérieure à l'unité.

Mais, dans un cylindre de machine à vapeur dont les parois sont conductrices de la chaleur, le phénomène est beaucoup plus complexe. Une partie de la vapeur d'admission se refroidit et se condense au contact des parois refroi-

dies pendant l'échappement, et une partie plus ou moins grande de la chaleur cédée aux parois est restituée à la vapeur pendant la détente, de sorte que la courbe tracée par l'indicateur est au-dessus de la courbe adiabatique. Cette courbe est encore représentée par une équation de la forme

$$PV^{\gamma} = P'V'^{\gamma}.$$

Seulement, l'exposant est plus petit que celui de l'équation de la courbe adiabatique. L'expérience a montré qu'il est ordinairement voisin de l'unité et que l'on peut calculer le travail de la vapeur avec une approximation très-suffisante dans la pratique, en se servant de la formule anciennement adoptée :

$$PV = P'V',$$

d'où l'on déduit pour le travail de la détente :

$$G = PV \log \text{nép.} \frac{V'}{V}.$$

Dans presque tous les diagrammes relevés sur des machines d'extraction à grandes détentes que j'ai eus entre les mains, la courbe de détente s'élève toujours au-dessus de la courbe hyperbolique déduite de l'équation $PV = P'V'$, c'est-à-dire que l'exposant γ est toujours plus petit que l'unité. Ce fait prouve que la condensation à l'intérieur des cylindres est considérable dans les grosses machines d'extraction et qu'on ne saurait la négliger sans commettre, dans l'appréciation de la consommation de vapeur, des erreurs de grande importance.

L'erreur commise dans le calcul du travail effectué, quand on prend la courbe hyperbolique, est au contraire assez faible, parce que la surface comprise entre cette courbe fictive et la courbe réelle est peu considérable relativement à la surface totale du diagramme.

Nous nous servirons de l'expression du travail donnée par la courbe hyperbolique pour calculer le travail de la détente des machines d'extraction à détente fixe ou variable.

Quand la détente est donnée par une distribution à coulisse, avec avance et recouvrement, l'admission maximum a lieu pendant une partie de la course du piston, qui varie de 75 à 80 p. 100, suivant les éléments de la distribution. Avec une machine de ce genre, dans laquelle on ne fait pas varier la position du coulisseau pendant la marche de la machine, le mécanicien maintient la vitesse uniforme en faisant varier la pression d'admission au moyen du régulateur.

En conservant les notations du § 2 et désignant par $\frac{1}{a}$ la fraction de la course pendant laquelle a lieu l'admission, par $\frac{1}{n}$ le degré de détente, c'est-à-dire le rapport du volume occupé par la vapeur à la fin de l'admission, au volume qu'elle remplit à la fin de la course, on voit facilement que le travail $\mathfrak{G}$ effectué pendant un tour est

$$\mathfrak{G} = \frac{\pi(d^2 - d'^2)L}{a} p(1 + ln) + 40.000\, pvln - \pi(d^2 - d'^2)p' \quad (18)$$

p' étant la contre-pression moyenne, obtenue en tenant compte de la période de compression.

On a d'ailleurs $$\frac{1}{n} = \frac{\pi \frac{(d^2 - d'^2)L}{a} + 40.000v}{\pi(d^2 - d'^2)L + 40.000v}.$$

Soit α le rapport du volume de l'espace nuisible v au volume total décrit par le piston ; (α est ordinairement compris entre 0,03 et 0,05).

$$\alpha = \frac{40.000\, v}{\pi(d^2 - d'^2)L}.$$

D'où $\frac{1}{a} = \frac{1}{n} + \alpha\left(\frac{1}{n} - 1\right) = \frac{1+\alpha}{n} - \alpha$ ou $n = \frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha}$.

Remplaçant dans l'équation du travail $\frac{1}{n}$ par sa valeur en fonction de $\frac{1}{a}$, 40.000 v par $\alpha\pi(d^2 - d'^2)$ L, on trouve, toutes réductions faites :

$$\mathfrak{E} = \pi(d^2 - d'^2)\mathrm{L}p\left[\frac{1}{a} + \left(\frac{1}{a} + \alpha\right) l \frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha} - \frac{p'}{p}\right].$$

Dans l'espèce, a est constant, et, pour que la vitesse soit uniforme, il faut que la pression p à chaque instant satisfasse à la condition :

$$\pi(d^2 - d'^2)\mathrm{L}p\left[\frac{1}{a} + \left(\frac{1}{a} + \alpha\right) l \frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha} - \frac{p'}{p}\right] =$$
$$= 2\pi\mathfrak{M} + \frac{1-\mathrm{K}'}{\mathrm{K}'}\pi(\mathrm{R}+r)\mathrm{Q},$$

ou, en remplaçant p' par $1{,}033 + \beta p$:

$$\left.\begin{array}{l}(d^2 - d'^2)\mathrm{L}p\left[\frac{1}{a} + \left(\frac{1}{a} + \alpha\right) l \frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha} - \beta\right] = \\ = 1{,}033(d^2 - d'^2)\mathrm{L} + 2\mathfrak{M} + \frac{1-\mathrm{K}'}{\mathrm{K}'}(\mathrm{R}+r)\mathrm{Q}.\end{array}\right\} \quad (18)$$

et
$$p = \frac{2\mathfrak{M} + \frac{1-\mathrm{K}'}{\mathrm{K}'}(\mathrm{R}+r)\mathrm{Q} + 1{,}033(d^2 - d'^2)\mathrm{L}}{(d^2 - d'^2)\mathrm{L}\left[\frac{1}{a} + \left(\frac{1}{a} + \alpha\right) l \frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha} - \beta\right]}. \quad (19)$$

Faisons comme au § 10, $K' = 0{,}72$, et admettons que $\alpha = 0{,}04$ et $\frac{1}{a} = 0{,}79$, ce qui donne $l\frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha} = 0{,}2256$.

Les expériences faites sur la machine de Sainte-Pauline, des houillères de Ronchamp (voir plus bas, § 18), montrent que, dans ce cas, $\beta = 0{,}12$.

Introduisant ces données dans les équations (18) et (19), on trouve, toutes réductions faites :

$$\mathfrak{C} = \pi(d^2 - d'^2)L(0{,}857\,p - 1{,}033) \qquad (20)$$

et

$$p = 1{,}205 + \frac{2\mathfrak{M} + 0{,}39(R+r)Q}{0{,}857(d^2 - d'^2)L}. \qquad (21)$$

Dans le cas de la distribution réglée par la pleine admission, nous avons trouvé au § 10 :

$$p = 1{,}611 + \frac{2\mathfrak{M} + 0{,}39(R+r)Q}{0{,}641(d^2 - d'^2)L}.$$

La pression nécessaire pour surmonter un moment déterminé est donc, avec la détente fixe, notablement plus petite qu'avec la pleine admission, et par suite le poids de vapeur consommée pour le même travail sera plus faible.

Si l'on fait $\mathfrak{M}$ égal au moment moyen $\frac{Q(R+r)}{2}$ on a pour la valeur de la pression moyenne :

$$p = 1{,}205 + \frac{(R+r)Q}{0{,}617(d^2 - d'^2)L}. \qquad (22)$$

§ 16. — Le poids de vapeur sensible Π_0 consommée par coup de piston, se calcule comme au § 11, en remplaçant $\pi(d^2 - d'^2)L$ par $\frac{\pi(d^2 - d'^2)L}{a}$ et v par $\frac{\alpha\pi(d^2 - d'^2)L}{40.000}$.

On trouve ainsi :

$$\Pi_0 = 0{,}000014692\pi(d^2 - d'^2)L\left\{\frac{1}{a} + \alpha\left[1 - \left(\frac{p'_1}{p}\right)^{0{,}9393}\right]\right\}p^{0{,}9393}.$$

Ici p'_1 représente non la contre-pression moyenne, mais la pression finale de l'espace nuisible, à la fin de la période de compression. Les diagrammes relevés sur la machine du puits Sainte-Pauline des houillères de Ronchamp, dont la distribution par tiroirs est réglée avec avance et recouvrement pour une détente fixe à 79 p. 100, montrent que la compression, qui suit la période d'échappement, est suffisante pour amener la pression de l'espace nuisible à la fin de la course aux sept dixièmes environ de la pression d'admission.

Faisant $\frac{p'_1}{p} = 0{,}7$, on trouve :

$$\Pi_0 = 0{,}00004616(d^2 - d'^2)\mathrm{L}\left(\frac{1}{a} + 0{,}28\alpha\right)p^{0{,}9393}. \quad (23)$$

Si $\frac{1}{a} = 0{,}79 \quad \alpha = 0{,}04$, on a :

$$\Pi_0 = 0{,}00003698(d^2 - d'^2)\mathrm{L}p^{0{,}9393}.$$

Le poids de vapeur condensée intérieurement par coup de piston est d'après la formule (12) dans laquelle on fait $p' = 1{,}033 + \beta p$

$$\Pi_1 = 0{,}0065\,\mathrm{S}p\sqrt{(1-\beta)p - 1{,}033}. \quad (24)$$

Le poids total de vapeur consommée par coup de piston Π, est :

$$\left.\begin{aligned} \Pi = 0{,}00004616(d^2 - d'^2)\mathrm{L}\left(\frac{1}{a} + 0{,}28\alpha\right)p^{0{,}9393} + \\ + 0{,}0065\,\mathrm{S}p\sqrt{(1-\beta)p - 1{,}033}. \end{aligned}\right\} \quad (25)$$

Si l'on fait $\frac{1}{a} = 0{,}79 \quad \alpha = 0{,}04 \quad \beta = 0{,}12$, on trouve :

$$\left.\begin{aligned} \Pi = 0{,}00003698(d^2 - d'^2)\mathrm{L}p^{0{,}9393} + \\ + 0{,}0065\,\mathrm{S}p\sqrt{0{,}88p - 1{,}033}. \end{aligned}\right\} \quad (25)$$

Le poids de vapeur consommée par cordée se calculera comme au § 11 dans le cas de pleine admission.

On pose $\mathfrak{M} = C - \frac{2PHr - (Q + 2Q')(R - r)}{M}\mu,$

C étant une constante, μ le nombre de tours.

L'équation (19) donne

$$p = A - \frac{2}{1-\beta}\,\frac{2PHr - (Q + 2Q')(R - r)}{(d^2 - d'^2)L\left[\frac{1}{a} + \left(\frac{1}{a} + \alpha\right) l\,\frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha}\right]M}\mu = A - B\mu,$$

A étant une constante, B désignant le coefficient de μ.

On a donc :

$$\Sigma\Pi = \int_0^M \Pi\, d\mu = \int_{p_1}^{p_0} \frac{\Pi\, dp}{B}.$$

Remplaçant Π par sa valeur tirée de l'équation (25) et effectuant l'intégration, on trouve :

$$\Sigma\Pi = \frac{(d^2-d'^2)L\left[\frac{1}{a}+\left(\frac{1}{a}+\alpha\right)l\,\frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha}-\beta\right]M}{2PHr-(Q+2Q')(R-r)}\left\{\begin{array}{l}0{,}0000119(d^2-d'^2)L\left(\frac{1}{a}+0{,}282\right)(p_0^{1{,}9393}-p_1^{1{,}9393})+\\ +\frac{0{,}0004338}{(1-\beta)^2}\left\{\begin{array}{l}[(1-\beta)p_0-1{,}033]^{\frac{3}{2}}[3(1-\beta)p_0+2{,}066]\\ -[(1-\beta)p_1-1{,}033]^{\frac{3}{2}}[3(1-\beta)p_1+2{,}066]\end{array}\right\}\end{array}\right\} \quad (26)$$

p_0 et p_1 sont donnés par les équations :

$$p_0 = \frac{2(Q+Q'+PH)r - 2Q'R + \frac{1-K'}{K'}(R+r)Q + 1{,}033(d^2-d'^2)L}{(d^2-d'^2)L\left[\frac{1}{a}+\left(\frac{1}{a}+\alpha\right)l\,\frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha}-\beta\right]} \quad (27)$$

$$p_1 = \frac{2(Q+Q')R - 2(Q'+PH)r + \frac{1-K'}{K'}(R+r)Q + 1{,}033(d^2-d'^2)L}{(d^2-d'^2)L\left[\frac{1}{a}+\left(\frac{1}{a}+\alpha\right)l\,\frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha}-\beta\right]}. \quad (28)$$

Si on fait $\frac{1}{a}=0,79 \quad \alpha=0,04 \quad \beta=0,12 \quad K'=0,72$,

on trouve :

$$\Sigma U=\frac{0,0000817(d^2-d'^2)LM}{2PHr-(Q+2Q')(R-r)}\left\{\begin{array}{l}(d^2-d'^2)L(p_0^{1,9393}-p_1^{1,9393})\\ +68,44S\left[\begin{array}{l}(0,88p_0-1,033)^{\frac{3}{2}}(2,64p_1+2,066)\\ -(0,88p_1-1,033)^{\frac{3}{2}}(2,64p_1+2,066)\end{array}\right]\end{array}\right.$$

$$p_0=1,205+\frac{(2,39Q+2Q'+2PH)r-(2Q'-0,39Q)R}{0,857(d^2-d'^2)L}. \quad (27)$$

$$p_1=1,205+\frac{(2,39Q+2Q')R-(2Q'-0,39Q+2PH)r}{0,857(d^2-d'^2)L}. \quad (28)$$

Si l'on veut se contenter d'une approximation moins grande, on calculera le poids moyen de vapeur consommée par tour, en introduisant dans l'équation (25) la pression moyenne d'admission p, calculée en faisant $\mathfrak{M}=\frac{R+r}{2}Q$ dans l'équation (19), et on multipliera le poids moyen ain obtenu par le nombre des tours.

Dans ce cas la pression moyenne

$$p=\frac{(R+r)Q+1,033(d^2-d'^2)L}{K'(d^2-d'^2)L\left[\frac{1}{a}+\left(\frac{1}{a}+\alpha\right)l\frac{1+\alpha}{\frac{1}{a}+\alpha}-\beta\right]}. \quad (29)$$

Si l'on compare l'équation (16) à l'équation (22), voit que dans le premier cas la valeur de p est notablement plus élevée que dans le second. Comme en outre on n'introduit que pendant les 79 centièmes de la course, on réalisera une notable économie de vapeur, en employant la détente fixe.

Étant donnée une machine d'extraction avec distribution par tiroirs, réglée pour la pleine admission, il est toujours possible d'obtenir une détente fixe en modifiant l'angle de

calage des excentriques et en donnant aux tiroirs un recouvrement approprié.

L'économie que donne la détente fixe est donc facile à réaliser.

Nous devons faire ici la même remarque qu'au § 11, sur l'influence exercée sur la consommation de vapeur par les dimensions plus ou moins grandes des cylindres.

Le travail par kilogramme de vapeur sensible est à peu près proportionnel à l'expression $1 - \frac{1,205}{p}$; pour $p = 2$, 3, 4, 5 kilogrammes, il est proportionnel aux nombres 1, 1,50, 1,75, 1,87.

L'influence des dimensions exagérées des cylindres des machines d'extraction sur la consommation de vapeur est ici moins grande qu'avec la pleine admission; elle est encore très-notable et l'on doit chercher à disposer les rayons d'enroulement de manière à diminuer autant que possible le moment maximum à surmonter en service.

§ 17. — S'il s'agit d'une machine à un seul cylindre et à engrenages, les équations (18) et (19) deviennent en appelant $\frac{1}{E}$ le rapport des engrenages :

$$\left.\begin{aligned} &E(d^2 - d'^2)Lp\left[\frac{1}{a} + \left(\frac{1}{a} + \alpha\right) l \frac{1+\alpha}{\frac{1}{a} + \alpha} - \beta\right] = \\ &= 1,033E(d^2 - d'^2)L + 4\mathfrak{M} + 2\frac{1-K'}{K'}(R + r)Q \end{aligned}\right\} \quad (18')$$

$$\text{et } p = \frac{4\mathfrak{M} + 2\frac{1-K'}{K'}(R + r)Q + 1,033E(d^2 - d'^2)L}{E(d^2 - d'^2)L\left[\frac{1}{a} + \left(\frac{1}{a} + \alpha\right) l \frac{1+\alpha}{\frac{1}{a} + \alpha} - \beta\right]}. \quad (19')$$

Je donnerai immédiatement un exemple des résultat fournis par les machines de ce genre.

C'est celui des deux machines du puits du Ravin de la Grand'Combe, dont j'ai indiqué les dimensions et les principaux éléments au § 8.

Ces machines qui fonctionnent sur le même puits, indépendamment l'une de l'autre ont une distribution par tiroirs avec avance et recouvrement mus par une coulisse de Stephenson, à barres droites, dont les éléments sont les suivants :

	MACHINE n° 1.	MACHINE n° 2.
Angle de calage ou angle d'avance.	18° 30'	23°
Recouvrement extérieur.	0m,015	0,012
Id. intérieur	0m,0015	0,002
Course totale du tiroir.	0m,105	0,075
Rayon de la coulisse.	2m,45	1,550
Demi-longueur du coulisseau.	0,175	0,200
Dimensions des lumières d'admission.	0,215 [illegible]	0,230 0,089
Id. id. d'échappement.	0,215 0,070	0,230 [illegible]
Volume de l'espace nuisible.	0m³,014	0m³,016
Rapport du volume de l'espace nuisible au volume décrit par le piston.	0,06	[illegible]

On marche toujours avec les coulisseaux à fond de course ; la distribution donne alors les résultants suivants :

	MACHINE n° 1.	MACHINE n° 2.
Admission (en centièmes de la course).	90,0	87,3
Détente id.	7,8	10,3
Echappement anticipé id.	2,2	2,4
Echappement id.	96,9	94,3
Compression id.	[illegible]	5,6

On n'a pas relevé de diagrammes sur ces machines.

Les formules (19') et (25) permettent de calculer la pression d'admission et le poids de vapeur dépensé par coup de piston.

En faisant $\beta = 0{,}12$, $\mathfrak{M}$ égal au moment moyen $\frac{(R+r)Q}{2}$, $E = \frac{47}{22}$, $K' = 0{,}67$ à cause des engrenages, on trouve :

	MACHINE n° 1.	MACHINE n° 2.
Volume décrit par le piston.	0.231	0,491
Pression absolue moyenne d'admission p.	4^k,481	3^k.106
Contre-pression absolue moyenne p'.	1^k,571	1,408
Pression résultante moyenne.	2^k.891	1,076
Travail indiqué par coup de piston	6 707^{kgm}	8.228^{kgm}
Poids de vapeur: sensible dépensée par coup de piston. .	0^k.492	0^k.729
Poids de vapeur: condensée intérieurement id. . .	0^k.133	0^k,103
Poids total de vapeur dépensée id. . .	0^k,625	0^k,832
Travail indiqué par kilogramme de vapeur.	10 835^{kgm}	9 880^{kgm}
Travail utile id	7.259^{kgm}	6 626^{kgm}
Consommation de vapeur par tonne élevée à 100 mèt.	13,77	15^k,09

La machine n° 2 consomme plus de vapeur, pour le même travail, que la machine n° 1, parce que la pression moyenne d'admission y est plus faible.

En septembre 1875, les poids élevés par jour en charbon, eau et bennes, ont été :

Machine n° 1. . 379^{tonnes} de 105^m, soit 398^{tonnes} de 100^m de hauteur.
— n° 2. . 748 — de 185^m, — 1.383 — de 100^m —

La quantité de charbon brûlé a été pour les deux machines de 5.613 kilogrammes.

Pour les 398 tonnes élevées chaque jour à 100 mètres de hauteur par la machine n° 1 la quantité de vapeur envoyée aux cylindres a été de $398 \times 13,77$ ou 5.480 kilog.

Pour les 1.383 tonnes élevées à 100 mètres par la machine n° 2, cette quantité a été de $1.383 \times 15,09$ ou 20.869 kilog. Ensemble : 26.349 kilog.

Chaque kilogramme de charbon rend environ 6 kilogrammes de vapeur.

La quantité de charbon consommée pour la production de la vapeur envoyée aux cylindres a donc été de.	4.391 kilog.
La quantité de charbon brûlé, pendant 24 heures, pour faire face aux diverses pertes, a été de 5,615-4,391, ou.	1.224 —
Soit par heure.	51 —
correspondant à une quantité de vapeur de. . . .	306 —
La surface de chauffe totale est de.	105^{mq}

Les deux machines élèvent par heure 146 tonnes à 100 mètres de hauteur, ce qui exige l'envoi aux cylindres de 2.161 kilogrammes de vapeur.

Les pertes étant pendant le même temps de 306 kilog., les chaudières ont à fournir par heure d'extraction 2.437 kilog. de vapeur, soit 23 kilog. par mètre carré.

On voit que le poids de vapeur correspondant aux pertes est d'environ 6 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

§ 18. — La machine à deux cylindres conjugués du puits Sainte-Pauline des houillères de Ronchamp, construite en 1859 par MM. André Kœchlin et C[ie], est munie d'une distribution à détente fixe.

Les conditions de l'extraction sont consignées dans le tableau du § 4. La durée moyenne d'une ascension, non compris l'arrêt à une recette intermédiaire située à 497 mèt. de profondeur est de 80 secondes. La vitesse moyenne des cages par seconde est de $6^m,78$.

Les dimensions de la machine et les données de la distribution sont les suivantes :

Diamètre des cylindres	$0^m,66$
Course des pistons	$2^m,00$
Diamètre de la tige du piston et de la fausse tige	$0^m,10$
Volume décrit par les pistons	$0^{m3},66853$
Volume de l'espace nuisible	$0^{m3},02878$
Rapport du volume de l'espace nuisible au volume décrit par le piston	0,043
Section des lumières d'admission	50/300 mill.
— d'échappement	900/300 mill.
Course du tiroir	130 mill.
Recouvrement extérieur	30 mill.
Recouvrement intérieur	$1^{mm},7$
Coulisse	Stephenson (barres ouvertes).
Angle de calage	27° 30′
Longueur des barres d'excentrique	4 mètres.

De ces éléments on déduit pour la distribution, en désignant par marche avant celle pendant laquelle les pistons se dirigent vers l'arbre et par marche arrière, celle pendant laquelle ils s'en éloignent.

	MARCHE arrière.	MARCHE avant.
Admission	75,0 p. 100	83 p. 100 de la course.
Détente	18 3	13,0
Echappement anticipé	6.7	4,0
Echappement	95,6	93,3
Compression	4,4	6,7
Admission anticipée	»	»

Ouverture maximum des lumières d'admission, 35 millimètres.

En examinant les diagrammes n°ˢ 7 et 8 (Pl. VI) relevés aux 2ᵉ et 30ᵉ tours sur la machine du puits Sainte-Pauline, il est facile de se convaincre de l'avantage que présente la distribution à détente fixe sur la distribution à pleine admission. Tandis que l'aire de la pression diffère peu de celle de la pleine admission, l'aire de la contre-pression est réduite à des proportions acceptables, et ne dépasse pas pour toute la cordée les 43 centièmes de celle de la pression.

En opérant de la même manière que pour les machines de Saint-Joseph et d'Eboulet, c'est à dire en traçant des courbes ayant pour abscisses le nombre des tours et pour ordonnées la pression, la contre-pression moyenne et la pression résultante, on a obtenu le diagramme n° 9 dont les éléments se trouvent dans les 4ᵉ, 5ᵉ et 6ᵉ colonnes du tableau suivant :

NUMÉROS des coups.	PRESSION d'admission initiale.	PRESSION d'admission finale.	PRESSION moyenne.	CONTRE-PRESSION moyenne.	PRESSION effective moyenne.	POIDS de vapeur sensible.	POIDS de vapeur condensée intérieurement.	POIDS total de vapeur consommée.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog
1	4,44	4,76	4.67	1,13	3.54	1.365	0,367	1,732
2	4,67	4,48	4.48	1,35	3.13	1,287	0,352	1,639
3	4,44	4,30	4,31	1,56	2,75	1,241	0,314	1,555
(*) 4	2,85	1,48	1,82	1,62	0.20	0,451	0,053	0,504
(*) 5	1,43	3,75	2,15	1.12	1,03	1,091	0,134	1,225
6	5,12	5,00	4,98	1,06	3,92	1,431	0,433	[illegible]
7	4,94	4.71	4,78	1,27	3,51	1,352	0,391	[illegible]
8	4,74	4,67	4,00	1,41	3,19	1,341	0,364	[illegible]
9	4,74	4,50	4.54	1,49	3,05	1,294	0,315	[illegible]
10	4,67	4.50	4,54	1,52	3,02	1,294	0,343	[illegible]
11	4,62	4,48	4.40	1,58	2,82	1,290	0,335	[illegible]
12	4,62	4.48	4,40	1,59	2,81	1.290	0,335	[illegible]
13	4,53	4,44	4,40	1,60	2,80	1,280	0,346	[illegible]
14	4,48	4,35	4.30	1.64	2,66	1.255	0 316	[illegible]
15	4,48	4.30	4 29	1,68	2,61	1,241	0,310	[illegible]
16	4,40	4,30	4,33	1,71	2,62	1,241	0,303	[illegible]
17	4,39	4,30	4,28	1,73	2,55	1,244	0,302	[illegible]
18	4,31	4,26	4.20	1,70	2.50	1,230	0,295	[illegible]
19	4,30	4,21	4.15	1.76	2,39	1,215	0,287	[illegible]
20	4,30	4,17	4,18	1,79	2.39	1,204	0,282	[illegible]
21	4,22	4,17	4,13	1,80	2,33	1,204	0.278	[illegible]
22	4,21	4,12	4,07	1,82	2.25	1,192	0,272	[illegible]
23	4,12	4,12	4,06	1,83	2,23	1,193	0,266	[illegible]
24	4,11	4.03	4.02	1,86	2,16	1,168	0.260	[illegible]
25	4,06	4,03	3,99	1,85	2,14	1,168	0,256	[illegible]
26	4.06	3,94	3,96	1,91	2,05	1,143	0,253	[illegible]
27	4,06	3.85	3,87	1,97	1,90	1.119	0,238	[illegible]
28	3.98	3,85	3.87	1,97	1,90	1,119	0,232	[illegible]
29	3,98	3,84	3.88	1,97	1.91	1,117	0 231	[illegible]
30	3,98	3,80	3.83	1,98	1,85	1,106	0,230	[illegible]
31	3,94	3,80	3.79	1,97	1,82	1,106	0,228	[illegible]
32	3,87	3,57	3.70	1,99	1.71	1,043	0,208	[illegible]
33	3,76	3.48	3,57	2,04	1,53	1,014	0,195	[illegible]
34	3,26	2,90	2,80	2,04	1,86	0,858	0,131	[illegible]
35	2.26	1,94	1.95	1.76	0,19	0,582	0,054	[illegible]
36	1,94	1,92	1,87	1,49	0 38	0,581	0,002	[illegible]
37	»	»	»	»	»	»	»	»
38	»	»	»	»	»	»	»	»
39	»	»	»	»	»	»	»	»
40	»	»	»	»	»	»	»	»
41	»	»	»	»	»	»	»	»
42	»	»	»	»	»	»	»	»
Moyennes par coup.	3,48	3,40	3,387	1,442	1,945	0,984	0,226	1,210

(*) Manœuvre à la recette intermédiaire.

La pression finale d'admission de la vapeur est toujours un peu plus faible que la pression initiale à cause de l'étranglement des lumières. Les poids de vapeur sensible consommée par coup sont inscrits dans la 7ᵉ colonne, ils ont été calculés au moyen des diagrammes, en prenant

pour la densité de la vapeur les nombres fournis par les tables, correspondant à la pression finale d'admission.

Les résultats d'ensemble sont les suivants :

Pression absolue moyenne d'admission. . . .	3^k,44
Pression absolue moyenne pendant toute la course.	3^k,387
Contre-pression absolue moyenne.	1^k,442
Rapport de la contre-pression effective moyenne à la pression absolue moyenne, β.	0,12
Pression résultante moyenne.	1^k,945
Travail total de la vapeur (travail indiqué). .	2.184.300 kgm.
Poids de vapeur sensible par cordée.	165^k,31
Poids total de vapeur consommée par cordée.	203^k,28
Travail indiqué par kilogramme de vapeur. .	10.744 kgm.

Nous avons trouvé au § 12 que le travail indiqué d'un kilogramme de vapeur n'était que de 6.140 kilogrammètres, avec une distribution réglée pour la pleine admission; il est de 10.744 kilogrammètres quand la distribution est réglée pour donner une admission moyenne de 79 p. 100 de la course.

Ainsi avec le même mode de distribution, le même mécanisme, en donnant seulement un angle d'avance aux excentriques et un recouvrement extérieur au tiroir, on a pu augmenter de 75 p. 100 le travail indiqué et par suite le travail utile du kilogramme de vapeur. Il est superflu d'insister sur l'avantage que présente une disposition aussi simple et pourtant rarement employée par les constructeurs, au moins jusque dans ces derniers temps.

Les manœuvres sont d'ailleurs tout aussi faciles avec une distribution de ce genre qu'avec la distribution à pleine admission, pourvu que les dimensions des cylindres satisfassent aux conditions énoncées au § 5.

§ 19. — Quand on a relevé les diagrammes qui ont servi à déterminer le travail de la vapeur sur les pistons de la machine de Sainte-Pauline, on n'a pas mesuré le poids exact de la houille extraite.

Si l'on prenait le poids moyen élevé dans une cordée, 1.800 kilogrammes, et si on le multipliait par la profondeur de l'accrochage 542 mètres, on trouverait pour le travail utile le chiffre 975.600 kilogrammètres qui ne représente que les 44 centièmes du travail indiqué. Ce chiffre de 0,44 s'éloigne trop de ceux qu'ont fourni les expériences citées au § 3 pour qu'on puisse l'admettre et il est à présumer que cet écart provient soit d'une inégalité dans le poids de chacun des deux câbles, le câble montant étant plus lourd que le câble descendant, soit de ce que le poids réel de houille élevée se trouvait plus grand que le poids nominal.

En se servant du coefficient de 0,70 trouvé à Eboulet on voit que le travail utile du kilogramme de vapeur dans une machine à tiroirs avec 79 p. 100 d'introduction est de 0,70.10744 ou 7.521 kilogrammètres.

La consommation de vapeur par tonne élevée à 100 mètres (non compris la condensation dans les tuyaux et les diverses pertes par refroidissement) est donc de $\frac{100.000}{7.521}$ ou $13^k,30$.

Avec du charbon produisant 5 kilog. de vapeur par kilogramme brûlé, la consommation de charbon pour ce même travail serait de $2^k,66$.

Ainsi que je l'ai déjà dit, la consommation réelle est beaucoup plus considérable à cause de la discontinuité du travail.

Pendant le mois d'août 1878, l'extraction moyenne journalière du même puits a été :

Houille et déblai	208^t	de la profondeur moyenne de 500^m
Eau.	97^t	— — de 545^m

On a fait en outre 22 cordées pour la montée et la descente des hommes, les visites de guidage, la descente des matériaux.

L'ensemble du travail utile effectué ressort à 1.713 tonnes élevées à 100 mètres de hauteur.

La consommation réelle de charbon a été de 10^t,214 par jour soit 5^k,96 par tonne élevée à 100 mètres.

On a brûlé, pour produire la vapeur envoyée aux cylindres, 1.713 × 2,66 ou 4.556 kilogrammes de charbon. On a donc consommé pour faire face aux diverses pertes 10.214 — 4.556 ou 5.658 kilogrammes de combustible, soit 235 kilogrammes par heure, chiffre à peu près égal à celui qui a été trouvé pour Eboulet.

La consommation moyenne de vapeur afférente aux diverses pertes est par heure de 235 × 5.	1.175 kg.
On élève en moyenne, pendant le jour, à 100 mètres de hauteur par heure.	120 tonnes.
La consommation de vapeur aux cylindres est, par heure, de 120.13,3 ou.	1.596 kilog.
La consommation totale de vapeur par heure, pendant le jour, est donc de.	2.771 kilog.

La surface de chauffe en service est de 167 mètres carrés, représenté par une batterie de 6 chaudières à 3 bouilleurs chacune, dont 5 en marche et une chaudière de secours; la surface de chauffe de chaque chaudière est de 33^{mq},4.

Ces chaudières fournissent en outre de la vapeur à une petite pompe dont la consommation par heure est d'environ 167 kilog. La production de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe est de $\frac{2.771 + 167}{167}$ ou 17^k,5.

La surface de chauffe en service exigée par la machine d'extraction, est par tonne élevée à 100 mètres et par heure de $\frac{167 - \frac{167}{17{,}50}}{120}$ ou 1^{mq},31.

La production de vapeur correspondant aux diverses

pertes est de 7 kilog. par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

La distribution à détente fixe avec introduction à 79 pour 100 de la course donne par tonne de houille élevée à 100 mètres de hauteur, une économie de 8,40 — 5,96 ou 2^k,44 de charbon sur la marche à pleine admission et de 2,02 — 1,31 ou 0^{m2},71 de surface de chauffe.

§ 20. — A la suite des expériences faites en 1874 sur la consommation de vapeur de la machine d'Eboulet, on chercha les moyens de la diminuer et l'on appliqua à la machine la soupape et la came de détente imaginées par M. Audemar, dont la description sera donnée dans la deuxième partie du mémoire.

Bien que ce dispositif permette à la rigueur de faire varier la longueur de la détente pendant la marche, je donne ici les résultats qu'il a fournis à Eboulet, parce qu'en réalité le mécanicien maintient la détente fixe pendant toute la cordée, en faisant simplement varier la pression d'admission pour modérer la vitesse.

Deux diagrammes, dont les résultats sont représentés par les *fig.* 10 et 12 (Pl. VI), ont été relevés en 1876 par M. l'ingénieur Elliot sur la machine transformée.

Les courbes tracées sur ces deux figures ont été obtenues en prenant pour abscisses les nombres de tours et pour ordonnées les pressions, les contre-pressions et les pressions résultantes moyennes, calculées au moyen des surfaces des diagrammes dessinés par le crayon de l'indicateur.

Les pressions moyennes diminuent et les contre-pressions augmentent progressivement à mesure que la vitesse augmente. Pour rendre sensible la relation qui existe entre ces divers éléments, et la vitesse, on a tracé les courbes des *fig.* 11 et 13, qui sont obtenues en prenant pour abscisses le nombre des tours et pour ordonnées les vitesses moyennes des pistons à chaque tour.

Dans l'expérience n° 1 on élevait de l'accrochage du fond à 561 mètres 2380 kilog. de houille. Dans l'expérience n° 2, la charge était introduite dans la cage à l'accrochage de 517 mètres; elle était de 2.480 kilog.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

	N° 1.	N° 2.	MOYENNES.
Nombre de tours des bobines	40,5	40,5	»
Pression de la vapeur aux chaudières	5k,500	4k,75	»
Pression moyenne d'admission (p)	4k,90	4k,18	»
Fraction de la course du piston pendant laquelle a lieu l'admission $\left(\frac{1}{n}\right)$	0,473	0,416	0,444
Pression absolue moyenne sur le piston	3k,80	2k,98	»
Contre-pression absolue moyenne (p')	2k,12	1k,65	»
Pression résultante moyenne	1k,68	1k,33	»
Rapport de la contre-pression absolue à la pression absolue moyenne	0,557	0,560	0,558
Rapport de la contre-pression effective à la pression d'admission (3)	0,222	0,147	0,184
Travail brut total de la vapeur sur le piston (travail indiqué)	2.088.148kgm	1.653.048kgm	1.870 598kgm
Travail utile en houille élevée	1.335.180kgm	1.282.160kgm	1.308,670kgm
Rapport du travail utile au travail indiqué (K')	»	»	0,70
Poids de vapeur sensible consommée par cordée	161k,35	122k,96	»
Poids total de vapeur consommée par cordée ($\Sigma\Pi$)	192k,20	146k,29	»
Travail brut de 1 kilogramme de vapeur	10.860kgm	11.329kgm	11 094kgm
Travail utile de 1 kilogramme de vapeur	»	»	7.766kgm
Consommation de vapeur par tonne élevée à 100 mètres	»	»	12k,88
Consommation de charbon correspondante	»	»	2k,58

Le travail utile d'un kilog. de vapeur est de 7.766 kilog. et est à très-peu près le même que dans la machine de Sainte-Pauline, bien que dans cette dernière l'admission ait lieu pendant les 79 centièmes de la course. Comme l'admission dans la machine d'Éboulet n'a lieu que pendant les 44,4 centièmes de la course, on devrait avoir une meilleure utilisation de la vapeur que dans la première. Cette anomalie apparente provient de ce que les orifices d'admission de la machine d'Éboulet sont exceptionnellement étroits, d'où résulte une élévation anormale de la contre-pression.

Les *fig.* (14), (15) et (16), qui reproduisent les dia-

grammes relevés à l'indicateur aux 2e, 20 et 35e tours de l'expérience n° 1, montrent en effet combien la contre-pression reste encore considérable.

Malgré cette imperfection, l'économie résultant de l'emploi de la détente est encore très-notable.

Au mois de septembre 1876, la machine d'Éboulet a élevé en moyenne par jour :

De l'étage de 517 mètres. . . .	82^t,6 de houille; 20 ,6 de déblais;
De l'étage de 562 mètres. . . .	10^t,2 de houille; 20 ,6 de déblais;
et de 564 mètres.	106^{mc} d'eau.

On a fait en outre 13 cordées pour la montée et la descente des hommes et pour la descente des matériaux.

Le travail journalier utile effectué par la machine équivalait à 1.378 tonnes élevées à 100 mètres de hauteur.

On a consommé 9.208 kilog. de charbon par jour, soit 6^k,61 par tonne élevée à 100 mètres.

Pour produire la vapeur utilisée dans les cylindres, on a brûlé 1.378. 2,58 ou 3.555 kilog. de charbon.

La consommation correspondant aux diverses pertes a été :

en charbon de 9.208 — 3.555 ou 5.653 kil. par 24 heures, soit 235 kilog. par heure.

en vapeur de 28.265 kil. par 24 heures, soit 1.177 kil. par heure.

On élevait en moyenne par heure de travail pendant le jour, 84 tonnes à 100 mètres.

On envoyait aux cylindres 84 × 12,88 ou 1.082 kilog. de vapeur par heure.

La consommation totale de vapeur par heure de travail était de 1082 + 1177 ou 2.259 kilog.

La surface de chauffe a été réduite à 178 mètres carrés fournis par 4 chaudières.

La production de vapeur par heure et par mètre carré était seulement de 12^k,7.

La surface de chauffe par tonne élevée à 100 mètres par heure était de $2^{mq},1$; mais elle aurait pu être réduite du quart.

La production de vapeur correspondant aux diverses pertes était de $6^{k},6$ par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

Au mois de juillet 1878, la même machine a élevé en moyenne par jour :

$82^{t}.4$ houille et déblais de l'étage de 517 mètres;

458 mètres cubes d'eau de la profondeur moyenne de 550 mètres.

On a fait en outre 10 cordées pour la montée et la descente des hommes, la descente des matériaux et les visites de guidage.

Le travail journalier utile effectué par la machine équivalait à 2.995 tonnes élevées à 100 mètres de hauteur.

On a consommé 13.737 kilog. de charbon, soit $4^{k},58$ par tonne élevée à 100 mètres.

On a brûlé, pour produire la vapeur envoyée aux cylindres, $2.995 \times 2^{k},58$ ou 7.727 kilog. de combustible.

La consommation correspondant aux diverses pertes est $13.737 - 7.727$ ou 6.010 kilog. en 24 heures, soit 250 kil. par heure.

On a élevé en moyenne par heure, en marche régulière, 140 tonnes de 100 mètres de profondeur.

On consommait alors par heure $140 \times 12,88 + 1.250$ ou 3.033 kilog. de vapeur avec 5 chaudières en feu, soit 222 mètres carrés de surface de chauffe.

Les chaudières fournissaient en outre de la vapeur à la machine d'un ventilateur consommant environ 6.000 kilog. de vapeur par 24 heures, ou 250 kilog. par heure.

La production de vapeur était de $14^{k},9$ par mètre carré de surface de chauffe.

Par tonne élevée à 100 mètres par heure, la surface de chauffe était de $1^{mq},46$.

La production de vapeur correspondant aux diverses pertes était de 6 kilog. par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

En raprochant de ceux-ci les résultats trouvés au § 11 pour la marche à pleine admission, on voit que l'économie réalisée par l'emploi de la détente a été, par tonne élevée à 100 mètres de $3^k,87$, soit par jour, pour 2.995 tonnes élevées à 100 mètres, 11.591 kilog. Elle est ici plus grande que dans l'exemple précédent, parce que la machine a effectué un travail beaucoup plus considérable et que par suite l'importance relative des pertes a diminué.

La même surface de chauffe (222 mètres carrés) a pu suffire à la production d'un travail bien plus considérable et en même temps à l'alimentation de la machine du ventilateur qui avait autrefois ses chaudières spéciales.

§ 21. — On a modifié également la machine du puits Saint-Joseph de Ronchamp dont la consommation de combustible était exagérée. Après avoir essayé en 1875 d'y appliquer la détente Guinotte, qui ne pouvait donner de bons résultats dans l'état où se trouvait la machine, on se décida en 1877 à remplacer les cylindres et à changer la distribution. C'est la société de constructions mécaniques de Mulhouse (anciens établissements A. Kœchlin et Cie) qui fut chargée de ce travail. On conserva le diamètre des cylindres et la course des pistons, et on appliqua une distribution avec détente et recouvrement, dont voici les éléments:

Section des lumières d'admission.	60/400	millim.
— d'échappement	60/400	—
Rapport de la surface des lumières d'admission à la surface du piston.	$\frac{1}{15,7}$	
Course des excentriques.	125	—
Recouvrement extérieur.	30	—
— intérieur.	0	
Angle d'avance des excentriques.	30°30'	
Longueur des barres d'excentrique (barres droites).	3.965	millim.

Longueur des coulisses.	400	millim.
Course des pistons.	2.000	—
Diamètre des cylindres.	700	—
Longueur des bielles motrices.	3.920	—
Rayon des coulisses.	5.965	—
Diamètre des tiges de piston	140	—
Volume de l'espace nuisible (à l'arrière et à l'avant).	25lit.,6	
Rapport du volume de l'espace nuisible au volume du cylindre.	0,034	

Il y a, pour chaque cylindre, deux tiroirs séparés, placés chacun près des fonds.

Afin de diminuer autant que possible l'étranglement de vapeur et la contre-pression, on a donné aux orifices d'admission et d'échappement une section considérable qui dépasse $\frac{1}{11}$ de la surface du piston.

L'effort à exercer par le mécanicien pour faire mouvoir les coulisses et changer la marche dépassant les forces d'un homme, on a muni la machine d'un servomoteur à vapeur au moyen duquel les manœuvres se font sans difficulté. (Voir la 2e partie du Mémoire.)

Avec la disposition primitivement adoptée pour le servomoteur, on ne pouvait marcher qu'avec les coulisseaux à fond de course, c'est-à-dire avec l'admission maximum.

Dans ces conditions, la distribution donne les éléments suivants exprimés en centièmes de la course du piston.

	MARCHE		
	avant.	arrière.	moyenne.
Avance linéaire à l'admission.	2mm,0	2mm,0	»
Ouverture maximum des lumières d'admission.	32mm,5	32mm,5	»
Rapport de la section maximum d'admission à la surface du piston.	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{20}$	»
Admission	80.2	71.0	75.6
Détente.	13,8	19,8	16.8
Echappement anticipé.	6,0	9.2	7,6
Echappement.	90,8	93.8	92,3
Compression.	9,2	6,2	7,7
Avance à l'admission.	0	0	0

Les diagrammes (*fig.* 17, 18 et 19, Pl. VI) ont été relevés sur la face arrière du piston aux 3e, 15e et 24e tours. Ils montrent que les résultats de la distribution sont satisfaisants : le diagramme est bien formé, l'admission se fait sans étranglement sensible de vapeur et surtout la contre-pression est très-faible. Le rapport de la contre-pression effective à la pression moyenne d'admission, rapport que nous avons désigné par β, est seulement de 0,056. Et encore la plus grande partie de la contre-pression effective provient-elle de la compression finale dont le travail est restitué au piston pendant la course directe.

On a relevé sur cette machine, pour deux cordées successives, les diagrammes de tous les coups de piston sur la face arrière de l'un des cylindres, c'est-à-dire pour la marche en avant du piston; on a mesuré les poids de houille élevés. On a donc pu déterminer ainsi le travail indiqué sur l'une des faces des pistons et le travail utile.

La marche avant correspond à une admission de 80,2 p. 100 de la course.

La marche arrière donnant une admission de 71 p. 100, il a fallu, pour déterminer le travail indiqué sur la face avant du piston, et par suite le travail indiqué total pour la cordée, faire une correction au moyen d'un calcul simple dont les formules précédentes fournissent les éléments.

Les données de l'extraction et les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Profondeur de l'extraction	420 mètres.
Nombre de tours de bobines.	31,5
Rayon initial d'enroulement de la bobine nord.	$1^m,530$
Rayon final — —	$2^m,765$
Rayon initial — de la bobine sud.	$1^m,475$
Rayon final — —	$2^m,865$
Poids nominal des câbles par mètre courant (non compris l'eau absorbée), bobine nord. .	$8^k,90$
Bobine sud	$10^k,72$

Expériences.

	N° 1, cage Nord (face arrière.)	N° 2 cage Sud (face arrière.)	MOYENNE de la face arrière.	MOYENNE de la face avant (calculée).	MOYENNE générale.
Poids de houille élevée	1.823	1.963	1.893	1.893	1 893
Durée de l'ascension en secondes	115	95	105	105	105
Pression d'admission initiale	2^{k},772	2^{k}.745	2^{k}.758	2^{k},758	2^{k},758
Id. id. finale	2^{k}.468	2^{k}.627	2^{k},547	2^{k}.547	2^{k},547
Id. id. moyenne	2^{k},620	2^{k},686	2^{k}.653	2^{k},653	2^{k},653
Fraction de la course pendant laquelle a lieu l'admission $\left(\frac{1}{a}\right)$	0,762 (1)	0,747 (1)	0,754	0,665	0,710
Pression absolue moyenne sur le piston	2^{k},368	2^{k},530	2^{k},449	2^{k}.341	2^{k},39
Contre-pression absolue moyenne (p')	1^{k},209	1^{k}.155	1^{k}.182	1^{k}.182	1^{k},182
Pression résultante moyenne	1^{k},159	1^{k},374	1^{k},267	1^{k},159	1^{k},213
Rapport de la contre-pression effective à la pression absolue d'admission (β)	0,067	0,045	0,056	0,056	0,056
Travail indiqué par coup de piston	8 699^{kgm}	10.313^{kgm}	9 506^{kgm}	8.698^{kgm}	910^{kgm}
Travail indiqué total pour toute la cordée	»	»	»	»	1.146 852^{kgm}
Travail utile total pour toute la cordée	765.660^{kgm}	824.460^{kgm}	795.060^{kgm}	»	795.060^{kgm}
Rapport du travail utile au travail indiqué (K')	»	»	»	»	0,693
Poids de vapeur sensible consommée par coup de piston (Π_0)	0^{k},765	0^{k},796	0^{k},780	0^{k},703	0^{k},741
Poids de vapeur condensée intérieurement par coup de piston (Π_1)	0^{k},127	0^{k},140	0^{k},134	0^{k},128	0^{k},131
Poids total de vapeur consommée par coup de piston (Π)	0^{k},892	0^{k},936	0^{k},914	0^{k},831	0^{k},872
Poids total de vapeur consommée par cordée ($\Sigma\Pi$)	56^{k},20	58^{k},97	57^{k},58	52^{k},35	109^{k},93
Travail indiqué d'un kilogramme de vapeur	9.752^{kgm}	11.021^{kgm}	10.386^{kgm}	10.467^{kgm}	10.426^{kgm}
Travail utile d'un kilogramme de vapeur	»	»	»	»	7.226^{kgm}
Consommation de vapeur par tonne élevée à 100 mètres	»	»	»	»	13^{k},84
Consommation de charbon correspondante	»	»	»	»	2^{k},77

(1) Ces nombres ont été fournis par la mesure directe sur les diagrammes. Ils diffèrent du chiffre donné par l'étude de la distribution (0.802), à cause de l'étranglement des lumières à la fin de l'admission, lequel produit le même effet qu'une réduction de la période d'admission.

En avril 1878, la machine du puits Saint-Joseph a élevé en moyenne par jour de 420 mètres de profondeur, 247 tonnes de houille ou de déblais.

On a fait en outre chaque jour 30 cordées pour la montée et la descente des hommes, la descente des matériaux et les visites de guidage.

Le travail journalier utile effectué par la machine était de 1.143 tonnes élevées à 100 mètres de hauteur.

On a consommé 8.733 tonnes de charbon, soit 7^{k},64 par tonne élevée à 100 mètres.

Pour produire la vapeur envoyée aux cylindres, on a brûlé 1.143 × 2,77 ou 3.166 kilog. de charbon.

La consommation correspondant aux diverses pertes était de 8.733 — 3.166 ou 5.567 tonnes en 24 heures, soit 232 kilog. par heure, chiffre identique à celui qui a été déjà trouvé ci-dessus.

La consommation de vapeur correspondant aux pertes était de 232 × 5 ou 1.160 kilog. par heure.

En moyenne, on a élevé par heure en marche régulière 105 tonnes à 100 mètres de hauteur.

La consommation maximum de vapeur par heure était de 5.105 · 2,77 + 1.160 ou 2.514 kilog.

Sur une batterie de 6 chaudières, il y en avait 5 en feu, représentant une surface de 166^{mq},80, et produisant par conséquent 15^{k},7 de vapeur par heure et par mètre carré.

Par tonne élevée à 100 mètres par heure, la surface de chauffe était de 1^{mq},58.

La production de vapeur correspondant aux diverses pertes était de 7 kilog. par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

CHAPITRE IV.

DISTRIBUTION A DÉTENTE VARIABLE.

§ 22. — Avec les deux modes de distribution examinés dans les chapitres précédents, — pleine admission et détente fixe, — le mécanicien règle la vitesse de sa machine en faisant varier la pression d'admission au moyen du régulateur.

On peut obtenir le même résultat en faisant varier la longueur de l'admission et par conséquent la détente, la pression d'admission restant constante.

On réalise ainsi une économie notable, d'abord parce qu'on profite du travail de la détente qui n'est pas du tout ou qui n'est qu'incomplètement utilisée avec les modes

de distribution déjà décrits; ensuite parce que la contre-pression est sensiblement réduite et descend presque à son minimum qui est la pression atmosphérique.

L'équation (18) nous donne l'expression du travail indiqué par tour,

$$\mathfrak{E} = \pi(d^2 - d'^2)\mathrm{L}p\left[\frac{1+\alpha}{n}(1+ln) - \alpha - \frac{p'}{p}\right].$$

p étant constant, il faut, pour que la vitesse soit uniforme, que n satisfasse à chaque instant à la relation

$$(d^2-d'^2)\mathrm{L}p\left[\frac{1+\alpha}{n}(1+ln) - \alpha - \frac{p'}{p}\right] = 2\mathfrak{M} + \frac{1-\mathrm{K}'}{\mathrm{K}'}(\mathrm{R}+r)\mathrm{Q}.$$

ou

$$\frac{1+\alpha}{n}(1+ln) = \alpha + \frac{p'}{p} + \frac{2\mathfrak{M} + \frac{1-\mathrm{K}'}{\mathrm{K}'}(\mathrm{R}+r)\mathrm{Q}}{(d^2-d'^2)\mathrm{L}p}. \quad (30)$$

$\mathfrak{M}$ est donné pour chaque tour par les éléments de l'extraction (poids suspendus, rayon d'enroulement, épaisseur des câbles et profondeur du puits). On pourra donc calculer n par l'équation (30), à la condition de connaître $\frac{p'}{p}$.

p' est une fonction de la pression de la vapeur à la fin de la course et par conséquent de n; il dépend en outre de la grandeur des orifices de distribution par rapport à la section du cylindre, de la vitesse du piston et du mode de distribution, celui-ci comportant ou non une période de compression à la suite de la période d'échappement.

Voici quelques résultats d'expériences donnant la valeur de p' dans des circonstances différentes :

DÉSIGNATION des machines.	NOMS des charbonnages.	RAPPORT des sections des orifices d'admission et du cylindre.	VITESSE moyenne des pistons.	PRESSION absolue d'admission (p)	LONGUEUR moyenne de l'admission ($\frac{1}{a}$)	CONTRE-PRESSION absolue moyenne (p')	RAPPORT de la contre-pression effective à la pression d'admission ($\frac{p'}{p}$)
			mètres.	kilog.		kilog.	
Éboulet.	Ronchamp.	$\frac{1}{31}$	1,50	4,90	0,473	2,12	0,22
Idem.	Idem.	$\frac{1}{34}$	1,20	4,75	0,416	1,63	0,147
St-Joseph (nouvelle).	Idem.	$\frac{1}{29}$	1,70	2,65	0,71	1 182	0,056
Idem.	Idem.	$\frac{1}{70}$	1,32	3,23	0,469	1,376	0,106
Puits-Campagne.	Sacré-Madame.	$\frac{1}{38}$	2,60	4,44	de 0.263 à 0.11	1,154	0,027

(1) Machine à tiroirs, détente Audemar, pas d'échappement anticipé, un peu de compression.
(2) Machine à tiroirs avec avance et recouvrement, échappement anticipé et compression finale très-accentuée dans les grandes détentes.
(3) Machine à détente Sulzer, compression finale à peu près constante.

Pour les machines à petits orifices d'admission, comme celle d'Éboulet, on peut faire $p' = 1.033 + 0.184\,p$.

Pour celles qui ont de grands orifices d'admission et qui marchent avec de grandes détentes et une compression finale peu prononcée, on fera $p' = 1{,}033 + 0{,}027\,p$.

§ 23. — Le poids de vapeur consommée se calculera comme au § 16.

Le poids de vapeur sensible Π_0 est donné par l'équation

$$\Pi_0 = 0{,}0000461 6(d^2 - d'^2)L\left(\frac{1+\alpha}{n}\,p^{0,9393} - \alpha p'^{\,0,9393}_1\right).$$

Dans cette formule p'_1 représente, non la contre-pression moyenne, mais la pression finale à la fin de la période de compression.

Dans les machines dont la distribution est réglée de telle sorte que l'échappement ait lieu pendant toute la course, on a $p'_1 = p'$.

Dans celles où la distribution comporte la fermeture an-

ticipée de l'échappement et par suite une compression finale qui ramène la pression de l'espace nuisible à un point plus ou moins voisin de la pression d'admission, p'_1 dépendra de la longueur de cette période de compression.

Dans ce cas p'_1 est ordinairement compris entre 0,7 p et p. Il atteint cette dernière valeur dans les machines à détente par avance et recouvrement, dans lesquelles la compression finale augmente à mesure que la longueur de la période d'introduction diminue.

Le poids de vapeur condensée intérieurement est égal à $0{,}0065\, p \sqrt{p - p'}\, S$.

Le poids total de vapeur consommée par coup de piston est donc :

$$\left.\begin{aligned} \Pi = 0{,}00004616(d^2 - d'^2)L\left(\frac{1+\alpha}{n} p^{0{,}9393} - \alpha p_1'^{0{,}9393}\right) + \\ + 0{,}0065 p S \sqrt{p - p'}. \end{aligned}\right\} (31)$$

§ 24. — Il s'agit maintenant de déterminer la quantité totale de vapeur consommée par cordée.

Nous avons appelé S la surface métallique exposée au contact de la vapeur. Elle est égale à la surface circulaire du fond du cylindre et du piston, plus la surface cylindrique des parois, plus la surface intérieure des conduites de vapeur depuis le cylindre jusqu'à la glace du tiroir, ou le siège des soupapes. Si nous appelons σ cette dernière quantité, on a :

$$S = \frac{\pi(d^2 - d'^2)}{20.000} + \pi \frac{d + d'}{100}\left(\frac{1+\alpha}{n} - \alpha\right)L + \sigma.$$

Si on remplace S par sa valeur dans l'équation (31) on voit que celle-ci peut être mise sous la forme :

$$\Pi = C . \frac{1}{n} + D.$$

C et D étant des constantes.

En désignant par $\frac{1}{n'}$, $\frac{1}{n''}$, $\frac{1}{n'''}$, etc..., la valeur successive du degré de détente pour chacun des coups de piston à partir de l'enlevage, par M le nombre total des coups de piston, on aura pour le poids total de vapeur consommée par cordée

$$\Sigma\Pi = C\left(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n'} + \frac{1}{n''} + \ldots\ldots + \frac{1}{n_1}\right) + MD.$$

Si l'on construit une courbe ayant pour ordonnée les valeurs successives de $\frac{1}{n}$ correspondant à chaque coup de piston et pour abscisses le nombre de ces coups, la surface de cette courbe sera précisément égale à :

$$\frac{1}{n} + \frac{1}{n'} + \frac{1}{n''} + \ldots\ldots \text{ et l'on aura}$$

$$\frac{1}{n_0'} + \frac{1}{n'} + \frac{1}{n''} + \ldots\ldots + \frac{1}{n_1} = \int_0^M \frac{1}{n}\,d\mu,$$

μ étant le nombre de coups de piston, qui varie de 0 à M.

D'un autre côté, l'équation (30), qui détermine $\frac{1}{n}$, ne renferme dans le second membre d'autre variable que le moment résistant $\mathfrak{M}$. La variation de cette quantité $\mathfrak{M}$ est sensiblement proportionnelle au nombre de coups de piston.

Si en effet on construit la courbe des moments, en prenant ceux-ci pour ordonnée et les nombres de coups de piston pour abscisses, on obtient une courbe symétrique par rapport à son milieu correspondant au moment moyen et présentant une inflexion en ce point. Cette ligne courbe s'écarte peu de part et d'autre de la ligne droite qui joint les points correspondant aux moments extrêmes, de sorte que l'on a sensiblement :

$$\mathfrak{M} = \mathfrak{M}_0 - \frac{\mathfrak{M}_0 - \mathfrak{M}_1}{M}\mu.$$

$\mathfrak{M}_0$ et $\mathfrak{M}_1$ représentent les moments initial et final.

Remplaçant $\mathfrak{M}$ par cette valeur dans l'équation (30), on a :

$$\frac{1 + ln}{n} = A - B\mu. \qquad (32)$$

dans laquelle A et B sont des constantes.

La différentiation de l'équation (32) donne :

$$ln . d\frac{1}{n} = Bd\mu,$$

d'où

$$\int_0^M \frac{1}{n}\,d\mu = \int_{n_0}^{n_1} \frac{1}{B}\,\frac{1}{n}\,l\,\frac{1}{n}\,d\,\frac{1}{n}.$$

Effectuant l'intégration, il vient :

$$\int_0^M \frac{1}{n}\,d\mu = \frac{1}{4B}\left(\frac{1 + 2ln_0}{n_0^2} - \frac{1 + 2ln_1}{n_1^2}\right).$$

Le poids total de vapeur consommée par cordée est donc :

$$\Sigma\Pi = \frac{C}{4B}\left(\frac{1 + 2ln_0}{n_0^2} - \frac{1 + 2ln_1}{n_1^2}\right) + MD. \qquad (33)$$

En opérant les réductions, on trouve :

$$\frac{C}{4B} = \frac{0{,}0000057(1 + \alpha)^2(d^2 - d'^2)^2L^2p^2M}{2PHr - (Q + 2Q')(R - r)}\left[p^{-0{,}0607} + \frac{4{,}423\sqrt{p - p'}}{d - d'}\right]. \qquad (34)$$

$$\ldots 00046\,16(d^2 - d'^2)\left[-\alpha L p_1'^{\,0{,}9393} + 4{,}423\,p\sqrt{p - p'}\left(0{,}005 - \frac{\alpha L}{d - d'} + \frac{31{,}820}{d^2 - d'^2}\right)\right]. \qquad (35)$$

n_0 et n_1 sont donnés par les équations :

$$\frac{1 + ln_0}{n_0} = \frac{\alpha + \frac{p'}{p}}{1 + \alpha} + \frac{2(Q + Q' + PH)r - 2Q'R + \frac{1 - K'}{K'}Q(R + r)}{(1 + \alpha)(d^2 - d'^2)Lp}. \qquad (36)$$

$$\frac{1 + ln_1}{n_1} = \frac{\alpha + \frac{p'}{p}}{1 + \alpha} + \frac{2(Q + Q')R - 2(Q + PH)r + \frac{1 - K'}{K'}Q(R + r)}{(1 + \alpha)(d^2 - d'^2)Lp}. \qquad (37)$$

Si l'on veut opérer plus simplement, mais avec une approximation moindre, on se contentera de déterminer le

degré moyen de détente par l'équation (30) dans laquelle on fera $\mathfrak{M}$ égal au moment moyen $\frac{(R+r)Q}{x}$, on déterminera le poids moyen de vapeur consommée par coup de piston par l'équation (31) dans laquelle on fera n égal au degré moyen de détente, et l'on multipliera ce poids par le nombre total des coups de piston.

L'exagération des dimensions des cylindres n'exerce pas, dans le cas de la détente variable, une influence bien sensible sur la consommation de vapeur et, dans certaines limites, elle est plutôt favorable.

En effet, toutes choses égales d'ailleurs, le poids de vapeur sensible est, en ne tenant pas compte de l'espace nuisible, proportionnel à $\frac{1}{n}$ et le travail développé à $\frac{1}{n}(1+ln)-A$, A étant une constante.

Le travail développé par kilogramme de vapeur sensible augmente donc avec n et par conséquent avec les dimensions du cylindre.

D'un autre côté, le poids de vapeur condensée intérieurement augmente relativement au poids de vapeur sensible, quand les dimensions du cylindre augmentent. En fait, pour un même travail développé, il y a plutôt avantage à avoir de grands cylindres.

L'emploi de la détente variable permet donc l'adoption de rayons d'enroulement plus considérables que les systèmes précédents, ce qui est favorable à la conservation des câbles.

§ 25. — J'ai donné ci-dessus les résultats fournis par la machine du puits Saint-Joseph de Ronchamp, marchant avec les coulisseaux à fond de course et avec l'introduction maximum de 75,6 p. 100.

Le servo-moteur qui commande le mécanisme de changement de marche ne comportait au début que cette intro-

duction. L'ingénieur des ateliers de la houillère, M. Rothfelder, a perfectionné depuis le servo-moteur primitif, de manière à permettre au mécanicien de régler la vitesse par la détente, sans toucher au régulateur, et la machine fonctionne aujourd'hui avec la détente variable.

La demi-longueur de la coulisse étant partagée en quatre parties, les valeurs moyennes, pour la marche avant et la marche arrière, des longueurs parcourues par les pistons pendant les différentes phases de la distribution sont données par le tableau suivant. Ces longueurs sont exprimées en centièmes de la course. On désigne par marche avant la marche pendant laquelle les pistons se dirigent vers l'arbre; par marche arrière celle pendant laquelle ils s'en éloignent.

Course du tiroir.	Avance linéaire à l'admission.	Avance linéaire à l'échappement.	Ouverture maximum des lumières d'admission.	Section correspondante des lumières.	ADMISSION		DÉTENTE		ÉCHAPPEMENT anticipé.		ÉCHAPPEMENT		COMPRESSION		AVANCE à l'admission.	
					AV	AR	AV	AR	AV	AR	AV	AR	AV	AR	AV	AR
m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	c.q.												
125	2,50	2,50	32,50	130	80,25	71,0	13,75	19,75	6,00	9,25	90,75	93,75	9,25	6,25	0	0
104,50	4	14	21,50	86	69,25	62,25	21,50	23,00	9,25	14,75	85,75	90,75	14,00	9,00	0,25	0,25
87,50	5	15	13,30	53,20	50,20	38,50	32,50	38,00	15,50	23,50	76,75	84,50	22,50	15,00	0,75	0,50
75	5,50	15,50	7,20	22,80	28,00	18,25	45,00	48,25	27,0	33,50	51,50	73,00	46,00	25,25	2,50	1,75
70	6	16	5,20	20,80	10,00	6,0	76,75	37,50	13,25	56,50	43,25	56,50	46,75	37,50	10,00	6,00

Pour la position IV, le rapport de la section maximum d'ouverture des lumières à la section du piston est de $\frac{1}{29}$. Ce rapport est largement suffisant; aussi la pression baisse-t-elle peu dans le cylindre pendant l'admission, comme le montrent les diagrammes nos 17, 18 et 19.

Pour la position III, le rapport des sections tombe à $\frac{1}{44}$; l'influence de l'étranglement se fait sentir pendant l'introduction, comme le montre le diagramme *fig.* 20, relevé au 4e tour de la machine marchant à détente variable. La

pression d'admission, qui, vers le commencement de la course, atteint $3^k,23$, n'est plus que de $2^k,70$ au moment où la détente commence.

Pour la position II, le rapport des sections descend à $\frac{1}{70}$. Le diagramme n° 21, relevé au 14° tour, montre combien l'étranglement diminue alors la pression d'admission; celle-ci est de $3^k,83$ au début de la course et descend à $2^k,70$ au moment où l'introduction se ferme.

Pour la position I, le rapport n'est plus que de $\frac{1}{120}$. Pratiquement, on ne marche jamais à ce cran de la distribution, et l'on ne descend guère au-dessous d'une position intermédiaire entre les crans I et II, correspondant à une admission de 42 p. 100 pour la marche avant et de 29,1 p. 100 pour la marche arrière, soit en moyenne de 35,6 p. 100. L'ouverture maximum des lumières est alors de $10^{mm},5$, la section de 42 centimètres carrés, égale à $\frac{1}{89}$ de la section du piston. Le diagramme *fig.* 22, relevé au 26° tour, donne alors pour la pression initiale d'admission $4^k,26$, pour la pression finale $2^k,95$.

On peut déterminer assez exactement l'influence de l'étranglement des orifices d'admission sur le travail de la vapeur dans les cylindres. Si l'on prolonge la ligne de détente *ab* (*fig.* 22, Pl. VI) jusqu'au point *c* correspondant à la pression initiale d'admission, on voit que la perte de travail moteur est représenté par la surface du triangle curviligne *bcd*.

Cette surface est de 97 millimètres carrés.

La surface du diagramme représentant le travail moteur *a, b, c, d, e, f, g*, est de 1850 millimètres carrés.

La perte de travail produite par l'étranglement est de $\frac{97}{1850}$ ou 5,20 p. 100 du travail moteur développé; elle

n'est donc pas aussi grande qu'on pourrait le croire à première vue. Elle n'est pas toutefois négligeable; elle pourrait d'ailleurs être notablement réduite par une modification convenable des éléments de la distribution.

On remarquera sur les diagrammes l'importance de la période de compression. Dès le 4e tour, la pression de la vapeur dans l'espace nuisible à la fin de cette période et au commencement de l'admission est à peu près égale à la pression de la vapeur d'introduction; elle dépasse bientôt cette dernière d'une quantité qui est de $\frac{1}{2}$ atmosphère au 14e tour, et d'une atmosphère au 26e tour.

On sait que ce travail résistant n'est pas perdu et qu'il est restitué au piston pendant la course directe. Il a en outre, poussé à ces limites extrêmes, une conséquence importante qui est de rendre à peu près nulle la condensation intérieure pendant l'admission. La chaleur correspondant au travail de compression se partage entre la vapeur, dont la pression et la température s'élèvent, et les parois des conduits de vapeur, du fond du cylindre et de la face du piston; ces parois sont échauffées à une température supérieure à la température de la vapeur d'admission et restituent ensuite la chaleur qu'elles ont absorbée à la vapeur, de sorte que celle-ci ne subit pas, ou subit peu de condensation intérieure. En calculant au moyen des courbes de détente des 14e et 26e tours les quantités de vapeur existant dans le cylindre pendant les différentes phases de la distribution, on trouve que cette quantité est plus faible à la fin qu'au commencement de la détente, ce qui prouve que la condensation à l'intérieur du cylindre se produit non pas pendant l'admission, mais pendant la détente, de sorte que la vapeur se comporte pendant l'admission et pendant la détente à peu près comme si les parois métalliques n'étaient pas conductrices de la chaleur. La consommation de vapeur est ainsi réduite, par la compression finale, de 25 p. 100 environ, dont 20 p. 100 pour la con-

densation intérieure et 3 p. 100 pour le remplissage de l'espace nuisible, tandis que le travail disponible est réduit de 15 à 18 p. 100 seulement. La forte compression de la fin de la course présente donc dans l'espèce un certain avantage.

Voici les résultats de deux expériences faites en février 1879 sur la machine du puits Saint-Joseph, marchant à détente variable.

Les diagrammes ont été relevés pour deux cordées successives sur la face arrière de l'un des cylindres, et ont servi à déterminer le travail indiqué et le poids de vapeur consommée. Pour la face avant, dont la distribution est différente, on a calculé ces éléments au moyen des résultats fournis par la face arrière corrigés d'après les formules du paragraphe 23.

Expériences.

	N° 1, cage Nord. (Face arrière.)	N° 2, cage Sud. (Face arrière.)	MOYENNE de la face arrière.	MOYENNE de la face avant.	MOYENNE générale.
Poids de houille élevée	1.818 kil.	1 809 kil.	1.813^{k},5	1.813^{k},5	1.813^{k},5
Durée de l'ascension en secondes	100	115	107,5	»	»
Pression d'admission initiale	3^{k},560	3^{k}.720	3^{k}.640	3^{k},61	3^{k},64
— finale	2 ,723	2 ,914	2 .818	2 ,818	2 ,818
— moyenne	3 ,142	3 ,317	3 ,229	3 ,229	3 ,229
Fraction moyenne de la course pendant laquelle a lieu l'admission	0,519	0,551	0,535	0,402	0,468
Pression absolue moyenne sur le piston	2^{k},544	2^{k},772	2^{k},658	2^{k},331	2^{k},494
Contre-pression absolue moyenne (p')	1 ,403	1 ,349	1 ,376	1 ,376	1 ,376
Pression résultante moyenne ($p - p'$)	1 ,141	1 ,423	1 ,282	0 ,955	1 ,118
Rapport de la contre-pression effective à la pression absolue d'admission (β)	0,118	0,095	0,106	0,106	0,106
Travail indiqué par coup de piston (kilogrammètres)	8.564	10.680	9.622	7.108	8.395
Travail indiqué pour toute la cordée (kilogrammètres)	539.528	672.897	606.212	451.584	1.057.796
Travail utile total (kilogrammètres)	763.560	759.780	761.670	761.670	761.670
Rapport du travail utile au travail indiqué (K')	»	»	»	»	0,72
Poids de vapeur consommée par coup de piston (1)	0^{k},587	0^{k},664	0^{k},626	0^{k},470	0^{k},548
Poids total de vapeur consommée par cordée	36 ,98	41 ,93	39 ,45	29 ,61	69 ,06
Travail indiqué d'un kilogramme de vapeur	14.589	16.084	15 336	15.251	15.293
Travail utile d'un kilogramme de vapeur	»	»	»	»	11.029
Consommation de vapeur par tonne élevée à 100 mètres	»	»	»	»	9^{k},06
Consommation de charbon correspondante	»	»	»	»	1 ,81

(1) Comme il n'y a pas ou presque pas de condensation à l'intérieur des cylindres, le poids total de vapeur consommée dans les cylindres est égal au poids de vapeur sensible.

Pendant le mois de juillet 1878, la machine du puits Saint-Joseph a élevé en moyenne, par jour, de 420 mètres de profondeur, 262 tonnes de houille ou de déblais.

On a fait en outre chaque jour 30 cordées pour la montée et la descente des hommes, la descente des matériaux et la visite du puits.

Le travail journalier total effectué par la machine a été de 1.185 tonnes élevées à 100 mètres de hauteur.

On a consommé 6.830 kilog. de charbon par jour, ou 5^{k},75 par tonne élevée à 100 mètres.

Pour produire la vapeur envoyée aux cylindres, on a brûlé 1.188 × 1,81 ou 2.150 kilog. de charbon.

La consommation correspondant aux diverses pertes était de 6.830—2.150 ou 4.680 kilog. en 24 heures, soit 195 kilog. par heure. Nous avions trouvé plus haut 230 à 250 kilog. La différence peut provenir soit d'un rendement plus fort du charbon employé, soit des soins apportés à la garniture des tuyaux de conduite de vapeur.

La consommation de vapeur correspondant aux diverses pertes était de 195 $\times$ 5 ou 975 kilog. par heure.

En moyenne, on a élevé par heure, en marche régulière, 126 tonnes à 100 mètres de hauteur.

La consommation de vapeur correspondante était par heure de 5.126 . 1,81 + 975 ou 2.115 kilog.

On avait conservé en feu cinq chaudières sur six, malgré la diminution de consommation de vapeur. La production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe n'était donc que de $\frac{2.115}{166,8}$ ou $12^k,7$. Mais on aurait pu ne marcher qu'avec quatre chaudières, ayant une surface de chauffe de $133^{mq},44$ et produisant $15^k,8$ de vapeur par heure et par mètre carré.

La surface de chauffe nécessaire serait ainsi, par tonne élevée à 100 mètres par heure, de $1^{mq},06$.

La production de vapeur correspondant aux diverses pertes était de $5^k,8$ par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

En résumé, la machine fonctionnant avec l'admission maximum exigeait, pour la production de la vapeur envoyée aux cylindres, $2^k,77$ de charbon et $1^{mq},58$ de surface de chauffe pour chaque tonne élevée à 100 mètres de hauteur par heure.

La même machine, fonctionnant avec la même distribution mais avec la détente variable, ne demande pour le même travail que $1^k,81$ de charbon et 1^{mq} de surface de chauffe. L'économie est de près de 1 kilog. de charbon et de $0^{mq},50$ de surface de chauffe.

§ 26. — Je donnerai encore un exemple de distribu-

tion à détente variable, choisi parmi les systèmes les plus perfectionnés. C'est celui de la machine système Sulzer établie sur le puits Campagne du charbonnage de Sacré-Madame à Dampremy (Belgique).

On trouvera dans la seconde partie du mémoire la description de cette machine. Pour le moment, je donnerai seulement les éléments nécessaires pour le calcul de son travail et de sa consommation de vapeur.

Diamètre des cylindres $\left(\frac{d}{100}\right)$	1 mètre
Diamètre des tiges $\left(\frac{d'}{100}\right)$	$0^m,147$
Surface des pistons	$0^{mq},7683$
Course des pistons (L)	$1^m,80$
Volume décrit par les pistons	$1^{mc},383$
Profondeur du puits (H)	800 mètres.
Câbles en aloès, à section décroissante, continue, poids moyen par mètre courant	$9^k,250$
Épaisseur moyenne du câble	$0^m,035$
Charge utile normale (Q)	2.500 kilog.
Poids mort (Q')	3.400 —
Poids total du câble (PH)	7 400 —
Rayon initial d'enroulement (r)	$1^m,80$
Rayon final d'enroulement (R)	$3^m,49$
Nombre de tours pour une ascension	47
Durée d'une ascension	85"

La détente est commandée par un régulateur hydraulique qui l'augmente ou la diminue de manière à maintenir la vitesse à peu près constante.

Je dois à l'obligeance de M. Passelecq, ingénieur en chef du charbonnage de Sacré-Madame, communication d'un diagramme complet, relevé sur la machine pendant une cordée entière au moyen de l'indicateur Deprez-Dehennault. L'inspection des diagrammes partiels montre que la distribution de la vapeur se fait d'une manière très-satisfaisante. La différence entre les pressions initiale et finale d'admission est faible, ce qui prouve que les orifices d'in-

troduction sont assez larges pour ne donner lieu qu'à un étranglement insignifiant de la vapeur. La courbe de détente est régulière et descend jusqu'à la ligne atmosphérique souvent même un peu au-dessous à la fin de la course. La contre-pression est égale à la pression atmosphérique pendant la plus grande partie de l'échappement ; à la fin de la course, il y a une période de compression, dont la longueur est à peu près constante et égale aux 0,102 de la course, et qui amène la pression de la vapeur dans l'espace nuisible au commencement de l'admission à $2^k,80$.

Les figures n°s 23, 24 et 25 (Pl. VI) reproduisent trois des diagrammes partiels relevés l'un au 2e tour, l'autre au 22e, le 3e au 42e tour.

Les résultats de l'expérience sont consignés dans le tableau ci-joint. Les deuxième et troisième colonnes donnent pour chaque tour la pression de la vapeur au commencement et à la fin de l'introduction. La pression finale est toujours un peu plus faible que la pression initiale, à cause du petit étranglement qui se produit au passage des soupapes. La quatrième colonne contient les densités de la vapeur correspondant aux pressions finales ; ces densités sont fournies par les tables de Zeuner. La cinquième colonne donne d'après le diagramme la fraction de la course pendant laquelle a lieu l'introduction. Les poids de vapeur sensible inscrits dans la sixième colonne ont été calculés en multipliant le volume décrit par le piston pendant l'introduction de vapeur, augmenté du volume de l'espace nuisible évalué à 3 p. 100 du volume total, par le chiffre de la densité inscrit dans la quatrième colonne et en retranchant de ce produit le poids de vapeur existant dans l'espace nuisible à la fin de la période de compression ; ce poids était à peu près constant et égal à $0^k,065$.

La septième colonne donne les poids de vapeur condensée intérieurement calculés d'après la formule (12). La plupart des courbes de détente descendant jusqu'à la ligne atmo-

sphérique, on peut calculer directement le poids exact de vapeur condensée intérieurement, par la méthode que j'ai exposée dans mon Mémoire sur la condensation de la vapeur à l'intérieur des cylindres des machines (*Annales des mines*, 7e série, tome XI). En opérant sur le diagramme n° 24, et en admettant que la proportion d'eau entraînée avec la vapeur provenant de la chaudière soit de 5 p. 100, on trouve, pour le poids de vapeur introduit, $0^k,605$ et pour le poids de vapeur condensée, $0^k,164$, ou 37,2 p. 100 du poids de vapeur introduit. La formule (12) donne $0^k,160$, chiffre presque identique avec celui que fournit le calcul direct (*).

(*) Il peut être utile de rappeler ici les équations au moyen desquelles on calcule le poids total de vapeur et d'eau fourni par la chaudière, et le poids de vapeur condensée intérieurement, dans le cas simple où la détente est poussée assez loin pour que la pression de la vapeur à la fin de la détente soit égale à la contre-pression.

Ces équations sont :

$$MXr_0 + M(q_0 - q_2) = AP_0(V_0 - v) + A\mathfrak{E}_2 - A\mathfrak{E}'^2 + (V_2 - V'^2)\frac{\rho_2}{u_2} + R,$$

et $$\Pi_1 = MX - \frac{V_0 - v}{u_0} - \frac{V'_2}{u_2 r_0}(q_0 - q'_2) - \frac{v}{r_0}\left(\frac{\rho_0}{u_0} - \frac{\rho'_2}{u'_2}\right).$$

M est le poids total de vapeur et d'eau fourni par la chaudière.

X est la proportion de vapeur contenue dans le mélange.

r_0 est la chaleur de vaporisation à la température t_0 correspondant à la pression d'admission P_0.

q_0, q_2 et q'_2 sont les quantités de chaleur nécessaires pour élever 1 kilogramme d'eau de 0° aux températures t_0, t_2 et t'_2, t_2 étant la température correspondant à la pression P_2; dans l'espèce, $P_2 = 10.334$, $t_2 = 100°$; t'_2 étant la température correspondant à la pression de la vapeur à la fin de la période de compression.

ρ_0, ρ_2, ρ'_2 représentent la chaleur interne de la vapeur aux températures t_0, t_2 et t'_2;

u_0, u_2 et u'_2 représentent l'augmentation de volume de 1 kilogramme de liquide se transformant en vapeur aux températures t_0, t_2 et t'_2.

Les quantités r, ρ, q et u sont fournies par les tables de Zeuner.

V_0, V_2 et V'_2 représentent les volumes occupés par la vapeur : 1° à la fin de l'admission; 2° à la fin de la détente, quand la pression

Les colonnes 9, 10 et 11 donnent la pression, la contre-pression et la pression effective moyennes calculées en divisant la surface du diagramme par l'abscisse représentant la longueur de la course.

Le régulateur est fermé au 42e tour, et l'on donne à la fin un peu de contre-pression pour éteindre la vitesse. On n'a pas tenu compte de ces contre-pressions dans le calcul de la pression, de la contre-pression et de la pression effective moyennes qui sont inscrites dans la dernière ligne du tableau.

---

devient égale à la contre-pression; 3° à la fin de la période de compression.

v est le volume de l'espace nuisible; A est l'inverse de l'équivalent mécanique de la chaleur $A = \frac{1}{425}$.

Enfin $\mathfrak{S}_2$ et $\mathfrak{S}'_2$ représentent le travail de la vapeur: 1° pendant la période de détente; 2° pendant la période de compression.

R est le refroidissement extérieur évalué en calories.

Dans le cas particulier qui nous occupe, le diagramme donne:

$V_0 = 0{,}2046$, $V_2 = 1{,}1801$, $V'_2 = 0{,}1885$, $P_0(V_0 - v) + \mathfrak{S}_2 - \mathfrak{S}'_2 =$ $= 14.280$ kilogrammètres, $P_0 = 45.500$ kilog., $P'_2 = 27.500$

On a de plus $v = 0{,}0415$.

Les tables de Zeuner donnent:

$$r_0 = 500{,}61;\ q_0 = 148{,}86;\ \frac{\rho_0}{u_0} = 1.122;\ q_2 = 100{,}5;\ \frac{\rho_2}{u_2} = 500{,}9;$$

$$q'_2 = 131{,}99;\ \frac{\rho'_2}{u'_2} = 746.$$

Effectuant les calculs et admettant que $X = 0{,}95$, c'est-à-dire qu'il y ait 5 p. 100 d'eau entraînée avec la vapeur, et que R soit égal à 1 cal., on obtient

$$M = 0^k{,}636;\ MX = 0^k{,}605;\ H_1 = 0^k{,}164.$$

Si l'on faisait $X = 0{,}92$, on aurait

$$M = 0^k{,}656;\ MX = 0{,}604;\ H_1 = 0{,}163.$$

L'erreur commise sur la proportion de vapeur et d'eau X, qui n'est évaluée qu'approximativement, n'a donc pas d'influence sensible sur le chiffre trouvé pour la quantité de vapeur condensée intérieurement.

NUMÉROS des coups de piston.	PRESSION d'admission initiale	finale.	POIDS du mètre cube de vapeur δ	FRACTION de la course pendant laquelle a lieu l'introduction $\frac{1}{a}$	POIDS de vapeur sensible par coup Π_0	POIDS de vapeur condensée intérieurement par coup Π_1	POIDS total de vapeur consommée par coup de piston Π	PRESSION moyenne sur le piston.	CONTRE-PRESSION moyenne p'	PRESSION effective moyenne.
	kilog.	kilog.	kilog.		kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
1	5,08	4,86	2.595	0,825	3.422	0,432	3.854	4,91	1,60	3,31
2	4,75	3.95	2,140	0,778	2,332	0,314	2,666	4,19	1,54	2,65
3	4,62	3.85	2.089	0.730	2.130	0,300	2.430	3,96	1,57	2,39
4	4 38	3.76	2,040	0.712	2,027	0,273	2,315	3,91	1,64	2,27
5	4,48	3,75	2,035	0,641	1,819	0,269	2,088	3,70	1,64	2,06
6	4,65	3 87	2.090	0,457	1,358	0.234	1,592	3,43	1,46	1,97
7	4,51	4.19	2.261	0,287	0,924	0,196	1,120	2,93	1,26	1,67
8	4,50	4,27	2,298	0,223	0,803	0.183	0,986	2,56	1,14	1,42
9	4,53	4,31	2.319	0,164	0,556	0,168	0,724	2,24	1,09	1,15
10	4,53	4 48	2,407	0 161	0,597	0,170	0,767	2,24	1,07	1,17
11	4,53	4,48	2,407	0,161	0,597	0,170	0,767	2,20	1,08	1,12
12	4.51	4,50	2,417	0,161	0,572	0,170	0,742	2,18	1,06	1,12
13	4,57	4,47	2,402	0,162	0,562	0,170	0,732	2,11	1,10	1,01
14	4,67	4,43	2,382	0,144	0.507	0.168	0,675	2,27	1,10	1,17
15	4,53	4,52	2.427	0,137	0,494	0,164	0,658	2,18	1,09	1,09
16	4,65	4,47	2.402	0,166	0,586	0.175	0,761	2,16	1,11	1,05
17	4 65	4,46	2,307	0,158	0,558	0,172	0,730	2,13	1,09	1,04
18	4,65	4,47	2,402	0,179	0,629	0,180	0,809	2,28	1,08	1,20
19	4,65	4.43	2,382	0,171	0.597	0,176	0,773	2 23	1,11	1,12
20	4,65	4,61	2,169	0,135	0.497	0,170	0 667	2,17	1,07	1,10
21	4,45	4,45	2,392	0,120	0,431	0,154	0.585	2,14	1,10	1,04
22	4,59	4,51	2,422	0,118	0,430	0,160	0,590	2,14	1,08	1,06
23	4.65	4,50	2,417	0,133	0,579	0,166	0,645	2,25	1,08	1.17
24	4.62	4.54	2,437	0,119	0.436	0.160	0,596	2,12	1,08	1,12
25	4,65	4.50	2,417	0,163	0,579	0,175	0.754	2,19	1,11	1,08
26	4.61	4,43	2,392	0,142	0,500	0,165	0,665	2,08	1,09	0,99
27	4,46	4,43	2,382	0,128	0,454	0,156	0,610	2,05	1,09	0,96
28	4,60	4,40	2.412	0,126	0,456	0.160	0,616	2,08	1,11	0.97
29	4,51	4,19	2.412	0,137	0,492	0,163	0,655	2,02	1,10	0,92
30	4,54	4,48	2,407	0,137	0,479	0,163	0,642	2,04	1,08	0,96
31	4,43	4,37	2.349	0,126	0,441	0,152	0,593	2,00	1,14	0,86
32	4,48	4.43	2.382	0,112	0,402	0,152	0.554	1,98	1,08	0,90
33	4,47	4.47	2,402	0,119	0,430	0,154	0,584	1,96	1,10	0,86
34	4,32	4,29	2,309	0,122	0,420	0,156	0,576	1,90	1,07	0,83
35	4,38	4,37	2.349	0,128	0,447	0,151	0,598	1,94	1,09	0,85
36	4 47	4,43	2,402	0,113	0,405	0,161	0,566	1,95	1,08	0,87
37	4,38	4,25	2,289	0,106	0,364	0,141	0.505	1,83	1,12	0,71
38	4.43	4,19	2,261	0,116	0,391	0,144	0,535	1,89	1,11	0,78
39	4,30	4,19	2,261	0.126	0,423	0.144	0,567	1,87	1,11	0,76
40	4,23	4.23	2,282	0,096	0,334	0.134	0.468	1,83	1,11	0,72
41	4,24	4.18	2,256	0,110	0,371	0,137	0,508	1,83	1,09	0,74
42	4,22	4,09	2,188	0,137	0,439	0,139	0,578	1,83	1,09	0,74
43	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
44	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
45	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
46	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
47	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Moyenne par coup.	4,52	4,33	»	0,198	0,663	0,163	0,826	2,235	1,154	1,081

En prenant pour abscisses le nombre des tours, pour ordonnées les pressions et les contre-pressions moyennes,

telles qu'elles sont portées dans le tableau précédent, on a obtenu le diagramme *fig.* 26, Pl. VI.

Quand l'expérience a été faite, le poids utile élevé était de 2.700 kilog., la durée de l'ascension de 65 secondes, le travail utile était de 2.700 × 800 ou 2.160.000 kilogrammètres.

On a fait en outre sur la machine une expérience comparative pour déterminer la consommation de vapeur quand on supprime la détente variable et qu'on marche avec l'admission maximum qui est de 0.73 de la course.

La charge utile élevée et la durée de l'ascension étant les mêmes, on a obtenu les résultats suivants, que nous mettons en regard de ceux que fournit la marche à *détente.*

	MARCHE	
	à détente variable.	à détente fixe.
Pression moyenne	2k,235	2k,503
Contre-pression moyenne *p'*	1k,154	1k,324
Pression effective moyenne	1k,081	1k.179
Pression moyenne d'admission *p*	4k.44	2k.90
Travail indiqué	2.810 513kgm	3.065 340kgm
Travail utile	2 160.000kgm	2 160 000kgm
Rapport du travail utile au travail indiqué	76,8 p 100	70,4 p 100
Poids de vapeur sensible consommée par coup de piston	0k,663	1k,381
Poids de vapeur condensée intérieurement par coup de piston	0k,163	0k,138
Poids total de vapeur consommée par coup de piston	0k,826	1k.519
Poids total de vapeur consommée par cordée	155k.29	285k.87
Travail indiqué par kilogramme de vapeur	18.112kgm	10.7[illegible]kgm
Travail utile par kilogramme de vapeur	13.932kgm	7.55[illegible]kgm
Consommation de vapeur par tonne élevée à 100 mèt.	7k,18	13k.23
Consommation de charbon correspondante	1k,43	2k,65

On remarquera que le chiffre trouvé pour le travail indiqué par kilogramme de vapeur, dans la marche à détente fixe est à très-peu près le même que celui qui a été trouvé aux §§ 18 et 21 pour la même marche sur les machines des puits Sainte-Pauline et Saint-Joseph de Ronchamp.

Le nombre d'ascensions par jour au puits Campagne est de 200, le poids utile du total élevé de 540 tonnes.

L'économie de charbon que donne la marche à détente variable sur la marche à détente fixe est de $1^k,22$ par tonne élevée à 100 mètres (en supposant que le combustible ne rende que 5 kilog. de vapeur par kilog. brûlé) et de $1,22 \times 540 \times 8$ ou 5.270 kilog. par jour. En évaluant à 6 francs le prix de la houille, on voit que l'économie réalisée est de $31^f,62$ par jour ou 9.486 francs par an, pour 300 jours de travail.

Je ne connais pas la consommation journalière totale de combustible de cette machine, ni la surface de chauffe de ses chaudières.

Les résultats trouvés dans les études précédentes permettent de calculer cette dernière avec une assez grande approximation.

On a vu que la production de vapeur correspondant aux diverses pertes équivaut en moyenne à 6 kilog. par heure et par mètre carré de surface de chauffe pour des chaudières fournissant (y compris ces pertes) 16 kilogr. de vapeur par heure. Il reste donc 10 kilog. par heure et par mètre carré pour la vapeur envoyée aux cylindres.

La machine élévant par heure 54 tonnes à 800 mètres de hauteur, soit 432 tonnes à 100 mètres, consommera aux cylindres $432 \times 7,18$ ou 3.090 kilog. de vapeur.

La surface de chauffe nécessaire est donc de 309 mètres carrés, soit $0^{mq},71$ par tonne élevée à 100 mètres par heure.

§ 27. — On peut vérifier l'exactitude des formules établies aux §§ 22, 23 et 24.

Les équations (34), (35), (36) et (37) donnent :

$$n_0 = 3,32,$$
$$n_1 = 7,84,$$
$$\frac{C}{4B} = 3,385,$$
$$D = 0,046,$$

d'où l'on tire $\Sigma\Pi = 0^k,810 . 188 = 152^k,28,$

chiffre qui se rapproche beaucoup de celui que donne l'observation directe ($155^k,29$). La petite différence en moins que présente le chiffre fourni par le calcul provient de ce qu'on ne tient pas compte du travail supplémentaire dépensé pour mettre la machine en vitesse, la force vive ainsi produite étant éteinte à la fin au moyen de la contre-vapeur.

Si l'on opère plus simplement, en calculant le poids moyen de vapeur dépensée, correspondant à la détente moyenne donnée par l'équation (30), dans laquelle on fait $\mathfrak{M}$ égal au moment moyen $\frac{(R+r)Q}{2}$, on trouve $\frac{1+ln}{n} = 0,524$, d'où $n = 5$ et $\frac{1}{a} = 0,176$.

Le poids correspondant de vapeur sensible $\Pi_0 = 0^k,594$.

Le poids de vapeur condensée intérieurement $\Pi_1 = 0^k,169$.

Le poids total de vapeur consommée par coup de piston $\Pi = 0^k,763$.

Le poids total de vapeur consommée par cordée $\Sigma\Pi = 188 . 0,763 = 143^k,44$, au lieu de $155,29$.

CHAPITRE V.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

§ 28. — Les expériences et les calculs exposés dans le cours de ce mémoire conduisent à des conséquences intéressantes au point de vue de la pratique et qui peuvent se résumer comme suit :

1° Le rendement des machines d'extraction, c'est-à-dire le rapport du travail utile, calculé d'après le poids de houille élevé, au travail indiqué, est meilleur qu'on ne l'imagine généralement. Il varie entre des limites assez

peu étendues, depuis 69 jusqu'à 78 p. 100. On peut adopter comme moyenne le chiffre de 72 p. 100.

2° L'utilisation de la vapeur envoyée aux cylindres est très-différente suivant le système de distribution.

Si l'on admet un rendement uniforme pour toutes les machines de 72 p. 100, le travail indiqué et le travail utile par kilogramme de vapeur, ainsi que la consommation de vapeur aux cylindres, par tonne élevée à 100 mètres de hauteur, sont :

	TRAVAIL indiqué d'un kilogr. de vapeur.	TRAVAIL utile d'un kilogr. de vapeur.	POIDS de vapeur consommée aux cylindres par 100.000 kgm. utiles.
Machine sans détente.	6.200 (1)	4.470	22,4 . . 1
Machine à détente fixe, 70 à 80 p. 100 d'admission.	10.630 (2)	7.660	13,1 . . 0,58
Machine à détente variable — par tiroirs, avec avance et recouvrement	15.300	11.030	9,1 . . 0,40
Machine à détente variable — système Sulzer ou autres systèmes perfectionnés. .	18.140	13.060	7,7 . . 0,34

(1) pour une pression moyenne d'admission de 3k,60. Le travail indiqué par kilogramme de vapeur serait plus grand ou plus petit pour des pressions d'admission plus grandes ou plus petites.

(2) pour une pression moyenne d'admission de 3k,3. Le travail indiqué varie comme le précédent, dans le même sens que la pression d'admission, mais dans des limites beaucoup moins écartées.

Ces chiffres sont fournis par l'expérience et peuvent être considérés comme très-approchés.

3° Les machines d'extraction ayant une marche discontinue et ne travaillant que pendant un temps relativement court, les pertes de chaleur dues au rayonnement, à la condensation dans les tuyaux de conduite, à l'entretien des feux pendant les arrêts exercent sur la consommation du combustible une influence beaucoup plus grande que dans les machines à marche continue. Cette influence est d'autant plus importante que la durée du travail effectif de la machine est moins considérable.

La détermination de ces pertes de chaleur n'a pu être faite que d'une manière approximative. Elle résulte en effet de la comparaison entre les quantités de charbon réellement brûlé aux chaudières, et les quantités de vapeur envoyées aux cylindres. Ces deux quantités sont toutes deux fournies exactement par l'expérience; mais il manque pour les comparer avec précision la connaissance exacte d'un troisième élément, qui est la production de vapeur par kilogramme de combustible brûlé. Ce troisième élément a dû être apprécié approximativement par comparaison avec les résultats fournis par d'autres qualités de combustible et déterminés expérimentalement.

Je crois néanmoins que les chiffres obtenus pour les pertes de chaleur ne doivent pas s'écarter beaucoup de la vérité et sont suffisamment approchés pour être acceptés dans la pratique.

Ces pertes sont sensiblement proportionnelles à la surface de chauffe en feu. En les évaluant en kilogrammes de vapeur produite nous avons trouvé qu'elles sont en moyenne de 6 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de chauffe. Nous avons trouvé en outre qu'en tenant compte de ces 6 kilogrammes de vapeur, chaque mètre carré de surface de chauffe produisait en général de 16 à 18 kilogrammes de vapeur par heure.

En retranchant de ces 16 à 18 kilogrammes, les 6 kilogrammes de vapeur équivalant aux diverses pertes, on voit que chaque mètre carré fournit par heure aux cylindres de 10 à 12 kilogrammes de vapeur.

Ces résultats peuvent servir à résoudre pratiquement la question de la surface de chauffe à donner aux machines d'extraction, question qui n'est la plupart du temps décidée qu'un peu au hasard.

On se donne *à priori* le poids maximum que la machine peut avoir à élever par heure d'une hauteur déterminée. Connaissant le système de distribution de la machine, on

saura quelle est la quantité de vapeur à fournir par heure aux cylindres. Cette quantité divisée par 10 ou 12 donne la surface de chauffe en feu nécessaire pour le service de la machine.

Le système de distribution et la surface de chauffe en feu d'une machine étant connus, ainsi que le poids total élever à 100 mètres par jour, on aura facilement la consommation de vapeur par jour. Cette consommation sera égale : 1° à la quantité de vapeur envoyée aux cylindres, laquelle est égale au poids total élevé à 100 mètres multiplié par le chiffre correspondant au système de distribution inscrit dans la troisième colonne du petit tableau de la page 75 ; 2° à la quantité de vapeur correspondant aux diverses pertes, qui est de vingt-quatre fois le produit par six du nombre de mètres carrés de surface de chauffe en feu.

On peut exprimer ces résultats par des formules simples.

Soient F le nombre de tonnes à élever par une machine à 100 mètres de hauteur par jour,

F le poids maximum à élever à 100 mètres par heure,

b le poids de vapeur consommée aux cylindres, suivant le système de distribution, par tonne élevée à 100 mètres,

$$b = 22,4 \quad 13,1 \quad 9,1 \quad \text{ou} \quad 7,7,$$

suivant qu'il s'agit d'une distribution sans détente, avec détente fixe de 60 à 80 p. 100 ou avec détente variable,

S la surface de chauffe en feu,

C la consommation de vapeur, par jour. — On aura :

$$S = \frac{bF'}{10}. \qquad (38)$$

$$C = bF + 144.S = bF + 14,4.bF'. \qquad (39)$$

La consommation de vapeur par tonne élevée à 100 mètres sera :

$$\frac{C}{F} = b\left(1 + 14,4\,\frac{F'}{F}\right). \qquad (40)$$

Pour une même valeur de F, la quantité $\frac{C}{F}$ diminue avec le rapport $\frac{F'}{F}$ et son minimum a lieu évidemment si $=\frac{F}{24}$, c'est-à-dire si la machine extrait à plein pendant les vingt-quatre heures de la journée; on a alors :

$$\frac{C}{F} = 1,60 . b.$$

Le plus souvent, dans les puits en pleine activité, $F' = \frac{F}{10}$, c'est-à-dire que l'extraction se fait en dix heures.

Dans ce cas $\frac{C}{F} = 2,44 b$.

La consommation de combustible par jour sera égale à $\frac{C}{5}$, $\frac{C}{6}$ ou $\frac{C}{7}$ suivant la qualité du charbon employé. Elle est proportionnelle à b, c'est-à-dire que la consommation de la machine sans détente étant 1, celle des machines à détente fixe sera 0,58, celle des machines à détente variable par avance et recouvrement sera 0,40 et celle des systèmes plus perfectionnés 0,34.

Pour rendre ces résultats plus sensibles, et pour permettre en même temps la comparaison entre les différents systèmes de distribution de vapeur, je prendrai l'exemple d'une machine calculée pour élever par jour 400 tonnes de 500 mètres de profondeur, l'extraction devant se faire en dix heures à raison de 40 tonnes par heure.

Je supposerai que le charbon employé rende 6 kilogrammes de vapeur par kilogramme brûlé sur la grille.

L'équation (38) donne

$$S = 20b.$$

Les équations (39) et (40)

$$C = 4880b \quad \text{et}$$

$$\frac{C}{F} = 2,44b.$$

On aura, suivant le système de distribution,

	CONSOMMATION par tonne élevée à 100 mètres		CONSOMMATION par 24 heures		SURFACE de chauffe en feu	
	de vapeur.	de charbon.	de vapeur.	de charbon.	totale.	par tonne élevée à 100 mèt. par heure.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	mèt. q.	mèt. q.
Machine sans détente . .	54,65	9,1	109.300	18.200	446	2,24
Machine à détente fixe de 70 à 80 p. 100. . . .	31,86	5,3	63.900	10.600	262	1,31
Machine à détente variable — par tiroirs, avance et recouvrements.	22,20	3,7	44.400	7.400	182	0,91
Machine à détente variable — Sulzer ou autres systèmes perfectionnés.	18,79	3,1	37.580	6.200	154	0,77

Si l'on évalue le charbon à 6 francs la tonne et le prix d'établissement du mètre carré de surface de chauffe à 100 francs, représentant un intérêt et un amortissement annuels de 20 francs, on trouve que dans l'exemple choisi les systèmes à détente réalisent sur l'ancien système à pleine admission les économies suivantes :

	ÉCONOMIE		ÉCONOMIE ANNUELLE en argent		
	sur le charbon con-sommé par jour.	sur la surface de chauffe.	sur le charbon.	sur la surface de chauffe.	totale.
	kilog.	mèt. q	francs.	francs.	francs.
Machine à détente fixe de 70 à 80 p. 100.	7.600	186	13 680	3.720	17.400
Machine à détente variable — à tiroirs avec avance et recouvrements.	10.800	266	19.440	5.320	24.760
Machine à détente variable — systèmes perfectionnés.	12.000	294	21.600	5.880	27.480

On peut tirer de ces chiffres les conclusions suivantes:

Les machines à pleine admission donnent de très-mauvais résultats économiques et doivent être résolument abandonnées.

Les machines à tiroirs avec détente fixe par avance et recouvrement, n'exigeant aucun dispositif spécial et conservant la simplicité du mécanisme, donnent déjà des résultats satisfaisants et peuvent être admises partout où la question d'économie du combustible ne sera pas prépondérante.

Les machines à détente variable présentent un avantage sensible sur les précédentes. L'adaptation d'un servo-moteur convenable aux machines à détente fixe à tiroir avec avance et recouvrement permet de leur donner la plupart des avantages de la détente variable, sans exiger aucun changement dans le mécanisme.

Enfin pour de très-grosses machines à construire, on adoptera l'un des systèmes perfectionnés de détente variable. L'ingénieur devra se guider dans son choix par des considérations d'économie sur le prix d'achat, de simplicité du mécanisme, de facilité de manœuvres. Ce sont les considérations qui feront l'objet de la seconde partie du présent mémoire, destinée à la description des divers systèmes de détente variable.

Paris, le 5 mai 1879.

LÉGENDE DES FIGURES DE LA PLANCHE VI.

Les diagrammes nos 1, 2, 4, 5, 9, 10, 12 et 26 ont été obtenus en prenant pour abscisses les nombres de tours de l'arbre des bobines, et pour ordonnées les pressions, les contre-pressions et les pressions résultantes moyennes.

La courbe des pressions et celle des contre-pressions moyennes sont figurées en traits pointillés; celle des pressions résultantes moyennes en traits pleins.

Les *fig.* 11 et 13 représentent les courbes des vitesses moyennes des pistons, les nombres de tours étant toujours pris pour abscisses.

Fig. 1 et 2. Machine du puits d'Eboulet (Ronchamp), réglée pour la pleine admission (1874).

Fig. 4 et 5. Machine du puits Saint-Joseph (Ronchamp), réglée pour la pleine admission (1874).

Fig. 9. Machine du puits Sainte-Pauline (Ronchamp), réglée avec détente fixe correspondant à 79 p. 100 d'admission.

Fig. 10. Machine du puits d'Éboulet, avec distribution (détente fixe), système Audemar, admission à 47,3 p. 100 de la course (1876).

Fig. 12. Même machine, détente fixe et admission à 41,6 p. 100.

Fig. 11 et 13. Diagrammes des vitesses moyennes du piston correspondant aux deux marches précédentes.

Fig. 26. Machine du puits Campagne (Sacré-Madame), détente variable, système Sulzer.

Les *fig.* 3, 6, 7, 8, 14 à 25 représentent des diagrammes ordinaires relevés à l'indicateur et correspondant à une cylindrée.

Fig. 3. Machine du puits d'Eboulet (1874), pleine admission.

Fig. 6. Machine du puits Saint-Joseph (1874), pleine admission.

Fig. 7 et 8. Machine du puits Sainte-Pauline, détente fixe, 2e et 30e tours.

Fig. 14, 15 et 16. **Machine du puits d'Éboulet (1876), détente Audemar,**
20e et 35e tours.

Fig. 17, 18 et 19. **Machine du puits Saint-Joseph (1878), détente fixe, 3e,**
et 24e tours.

Fig. 20, 21 et 22. **Machine du puits Saint-Joseph (1878), détente variable,**
14e et 26e tours.

Fig. 23, 24 et 25. **Machine du puits Campagne, détente variable Sulzer, 2e,**
et 42e tours.

NOTE

SUR

UN SYSTÈME DE VOITURES A VAPEUR

Par M. WORMS DE ROMILLY, ingénieur des mines.

Le but des chemins de fer est non seulement de rendre les voyages plus rapides, mais encore plus faciles, grâce au nombre des départs de chaque localité dans une même journée.

Sur les lignes importantes, on peut avec avantage établir plusieurs trains de chaque sens; il n'en est pas de même sur les lignes secondaires, dont le trafic en voyageurs et en marchandises est faible. Pour que l'exploitation ne soit pas onéreuse et qu'elle donne satisfaction dans une certaine mesure aux intérêts du public, il faut pouvoir réduire dans la plus large mesure les frais de traction et de personnel.

Tel est le problème que l'on cherche à résoudre par l'emploi des voitures à vapeur. Sur une ligne dont le produit suffit à peine à couvrir les frais d'un ou de deux trains par jour, on peut compléter le service en faisant circuler une voiture à vapeur. Quelquefois les exigences de la poste rendent nécessaire un train de nuit dans des conditions où l'on ne doit compter sur aucun trafic; la voiture à vapeur peut dans ce cas concilier en partie les exigences de la poste avec l'intérêt du chemin de fer.

Nous nous proposons dans cette note de décrire la voiture à vapeur qui a été construite sur les plans de M. Belpaire, administrateur des chemins de fer de l'État en Belgique.

Les voitures de ce système fonctionnent déjà depuis quelques années sur la ligne de Blaton à Bernissart et aux environs de Bruxelles.

Dimensions de la voiture. — La voiture est à trois essieux; ses dimensions sont :

Longueur entre les butoirs	12,24
Largeur	2,82
Hauteur totale au-dessus des rails	3,25
Écartement des essieux extrêmes	6,80

Elle se divise (*fig.* 1, 2, 3, Pl. VII) en cinq compartiments et est terminée à l'arrière par une terrasse couverte F à laquelle donnent accès deux escaliers latéraux.

Le compartiment antérieur A est réservé à la chaudière et au mécanisme, le local B sert au dépôt des bagages; il est desservi par le couloir C qui donne également accès au compartiment de 2e classe D; le compartiment de 1re classe communique avec le précédent par des portes P′, P″; mais ces portes sont fermées habituellement et les voyageurs de 1re classe passent par la terrasse et la porte P_1.

Il y a quatre banquettes disposées parallèlement à la voie, une contre chaque paroi latérale, deux dans l'axe de la voiture avec un dossier commun.

La largeur des banquettes est de 0m,40 et leur écartement de 0m,50. Les deux compartiments à voyageurs sont de même grandeur; ils contiennent chacun 22 places et ils ne diffèrent que par le mode de garniture des sièges.

Voici les longueurs des divers compartiments :

Local de la machine	2,675
— des bagages	1,115
Couloir	0,750
Compartiment de 2e classe	3,050
— de 1re classe	3,050
Terrasse d'arrière	0,750
	11,390

On voit sur la *fig.* 1 que les essieux sont très inégalement espacés.

Porte-à-faux d'avant.	2,120
Distance des essieux 1 et 2.	2,200
— — 2 et 3.	4,600
Porte-à-faux d'arrière.	2,470

L'essieu du milieu forme la limite entre la partie d'avant réservée à la machine et au local des bagages et la partie d'arrière réservée aux voyageurs.

La caisse est montée sur un bâti formé de deux longerons en fer en C, la partie évidée dirigée à l'extérieur, et l'aile supérieure un peu plus petite que l'autre. La hauteur des longerons et des traverses extrêmes qui sont de même forme est de 350 millimètres.

Le mécanisme est placé à l'avant sous le compartiment de la chaudière ; il est porté par une plaque, qui est suspendue à la traverse d'avant au moyen d'une bielle et qui repose par de larges paliers sur l'essieu antérieur ; les détails de cette disposition seront indiqués plus loin.

Les essieux n'ont aucun jeu dans leurs plaques de garde ni à l'avant, ni au milieu ; à l'arrière, les coussinets, fixes par rapport à l'essieu, peuvent se déplacer par rapport aux boîtes en décrivant un arc de cercle dont le centre se trouve sur l'axe de la voiture du côté de l'avant.

La suspension a été calculée de manière à placer les voyageurs dans les conditions ordinaires, tout en réduisant dans la plus large mesure l'amplitude des oscillations de l'extrémité du véhicule qui porte le mécanisme.

Nous allons décrire sucessivenent les différentes parties de la voiture à vapeur.

Suspension. — La voiture repose sur des ressorts indépendants et de composition différente pour chaque essieu. Ces ressorts sont d'autant plus flexibles, qu'ils sont plus éloignés de l'avant ; on s'est proposé par cette disposition de donner moins d'amplitude aux mouvements de la caisse

à l'avant et de rendre les mouvements plus doux du côté de l'arrière qui est réservé aux voyageurs. Nous entrerons dans quelques détails sur le calcul des ressorts.

Nous supposerons les deux ressorts d'un même essieu réunis au milieu de cet essieu et la voiture réduite à son axe; ce qui revient à considérer une barre pesante ABC (*fig.* 4, Pl. VIII), qui repose en trois points A, B, C sur des ressorts doubles d_1, d_2, d_3. Attribuons aux points A, B, C, les indices $_1$, $_2$, $_3$.

Désignons: par φ_n la flexibilité d'un ressort, c'est-à-dire la dimension de la flèche produite par une charge de 1 000 kil., par p_n la charge d'un ressort, et par f_n la perte de flèche correspondante.

Admettons pour p_1, p_2, p_3 des valeurs telles que l'on ait

$$(1) \qquad p_1\varphi_1 = p_2\varphi_2 = p_3\varphi_3 = f.$$

La charge totale P supportée par le système des ressorts sera alors

$$(2) \qquad \mathrm{P} = p_1 + p_2 + p_3 = f\left(\frac{1}{\varphi_1} + \frac{1}{\varphi_2} + \frac{1}{\varphi_3}\right).$$

Cette force aura son point d'application en H à une distance a du point A telle que l'on ait:

$$(3) \qquad \mathrm{P}(a - m) = p_3(l - m) - p_1 m$$

m, l étant les distances AB et AC des 2e et 3e essieux au 1er essieu.

Supposons maintenant que la force P est appliquée au point G et prenons GA $= b$; nous pouvons remplacer la force P appliquée en G par une force égale appliquée en H et par un couple dont le bras de levier serait GH. La force P appliquée en H se décomposera en trois forces p_1, p_2, p_3 dont nous connaissons les valeurs et la perte de flèche correspondante f qui est la même pour tous les ressorts. Le

couple fera tourner la barre ABC autour du point H sans déplacer ce point, car les forces dues aux déformations des ressorts ont une somme qui, égalée à zéro, reproduit précisément l'équation (3); cette somme est donc nulle.

Le couple, dans le cas représenté sur la *fig.* 4, relèvera le ressort C et fera fléchir les deux autres; si α est l'inclinaison que prend la ligne AC dans sa nouvelle position A'C', c'est-à-dire l'angle CHC', on aura, en remarquant que f est connu en fonction de P, φ_1, φ_2, φ_3, les valeurs suivantes:

	En A	En B	En C
Première perte de flèche.	f	f	f
Charge correspondante. .	$\frac{f}{\varphi_1}$	$\frac{f}{\varphi_2}$	$\frac{f}{\varphi_3}$
Deuxième perte de flèche.	αa	$\alpha(a-m)$	$-\alpha(l-a)$
Surcharge correspondante	$\frac{\alpha a}{\varphi_1}$	$\frac{\alpha(a-m)}{\varphi_2}$	$\frac{-\alpha(l-a)}{\varphi_3}$

Nous ne connaissons pas α; la résultante des forces p_1, p_2, p_3 est la force P appliquée en H; celle des forces p_n augmentées de leurs surcharges est la force P appliquée en G; si donc on prend le moment de ces forces par rapport au point H, le moment des forces p_1, p_2, p_3 sera nul comme celui de leur résultante, et par suite le moment de la force P appliquée en G sera égal à la somme des moments des surcharges; donc:

$$(4) \qquad P(a-b) = \frac{\alpha a^2}{\varphi_1} + \frac{\alpha(a-m)^2}{\varphi_2} + \frac{\alpha(l-a)^2}{\varphi_3},$$

relation qui donne la valeur de α.

Il est évident que la somme des surcharges doit être nulle; cette considération donne une nouvelle équation qui n'est autre, après réduction, que l'équation (3).

Nous avons dit que l'on donnait aux ressorts une flexibilité croissant avec leur distance à l'essieu antérieur; on peut

donc poser

$$\frac{\varphi_3 - \varphi_2}{l - m} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{m},$$

ou

(5) $$\varphi_2 = \varphi_1 + \frac{m}{l}(\varphi_3 - \varphi_1).$$

Nous avons maintenant tous les éléments nécessaires pour le calcul des ressorts.

On se donne φ_1, φ_3, m, l, ou φ_1, φ_2, φ_3, l, et on déduit de l'équation (5), suivant le cas, φ_2 ou m.

La relation (2) donne f, et les relations (1) donnent p_1, p_2, p_3; de l'équation (3) on tire la valeur de a, de l'équation (4) la valeur de α; on peut alors connaître les charges de chaque essieu :

$$\frac{f + \alpha a}{\varphi_1}, \quad \frac{f + \alpha(a - m)}{\varphi_2}, \quad \frac{f - \alpha(l - a)}{\varphi_3}.$$

et les numérateurs de ces fractions donnent les pertes de flèche.

L'inclinaison de la ligne de contact des ressorts et de la caisse que nous supposerons lentement abaissée jusqu'au contact sans pression est arbitraire; si nous la prenons égale et de sens contraire à α, la ligne des extrémités des ressorts sous la charge de la caisse sera horizontale.

On obtient ce résultat en donnant aux ressorts, dont les points d'appui inférieurs sont sur une même horizontale, des flèches de construction convenables.

Quant aux dimensions des ressorts, elles se calculent par les formules

$$4Q = p_n, \quad a = nd, \quad 2\varphi_n = \frac{6.000\, a^3}{nEbc^3}, \quad Q = \frac{nRbc^2}{6a},$$

dans lesquelles a, b,... représentent :

$2a$ la largeur du ressort simple en millimètres,

b sa largeur,

c son épaisseur,

p_n la charge sur l'essieu en kilogrammes,

Q la charge sur une extrémité du ressort simple,

R l'effort moléculaire maximun que l'on ne veut pas dépasser,

E le coefficient d'élasticité égal à 20.000,

n le nombre des feuilles étagées,

d la moitié de la différence de longueur de deux feuilles successives du ressort,

φ_n la perte de flèche du ressort exprimée en millimètres sous la charge de 1.000 kilogrammes.

Dans la voiture à vapeur, les ressorts sont fixés au-dessous des longerons au moyen de menottes; les flèches de fabrication sont telles que la caisse est horizontale à charge moyenne, inclinée de 5 millimètres par mètre vers l'avant à vide, et inclinée de 5 millimètres par mètre vers l'arrière à charge complète.

Les détails dans lesquels nous sommes entré à propos des ressorts sont suffisants pour que l'on puisse se rendre compte des calculs numériques à exécuter dans chaque cas particulier.

Dans une voiture, φ_1 et φ_2 avaient été pris égaux à 50 et 100 millimètres par tonne. Voici les données d'une voiture pour laquelle la flexibilité serait moindre.

	Avant.	Milieu.	Arrière (*).
Pression sur le rail à charge complète	9.028k	7.473k	5.538k
Poids des essieux	1.055k	880k	870k
Pression sur les ressorts, à vide	7.667k	5.645k	2.769k
Pression sur les ressorts, à charge complète	7.973k	6.593k	4.668k
Longueur du ressort	1.650mm	1.960mm	1.960mm

(*) Les dimensions adoptées pour les ressorts d'arrière sont un peu différentes de celles que donne le calcul théorique, parce qu'on a voulu conserver des ressorts correspondant à une autre répartition du poids. On a pris $n = 14$, $c = 12$, ce qui donne $\varphi = 77$.

	Avant.	Milieu.	Arrière.
Largeur	100mm	75mm	75mm
Épaisseur	10mm	12mm	11,5mm
Nombre de feuilles	17	17	15
R	55k	52k,5	45k
φ	54mm	62mm	78mm

La position du centre de gravité de la voiture (essieux non compris) se trouve toujours près de l'essieu du milieu. Avec la répartition correspondant au cas le plus défavorable, celui de la voiture vide, le centre de gravité se trouve entre les essieux antérieurs et à 1,94 du premier essieu.

En cas de rupture de l'essieu moteur, la voiture ferait donc la bascule autour de l'essieu du milieu. Il y a *là* un inconvénient, mais il est bien difficile de l'éviter dans les voitures à vapeur; d'ailleurs, quand la voiture est en pleine charge, le centre de gravité se trouve reporté à 2m,40 de l'essieu d'avant et par conséquent derrière l'essieu du milieu.

Boîtes à huile. — Les ressorts reposent sur les essieux par l'intermédiaire de boîtes qui n'ont aucun jeu dans leurs plaques de garde; mais l'essieu d'arrière offre une disposition spéciale destinée à faciliter le passage de la voiture dans les courbes de petit rayon.

Ses boîtes sont radiales, c'est-à-dire que l'essieu et le coussinet se déplacent par rapport à la boîte maintenue sans aucun jeu par les plaques de garde et dans ce mouvement les centres des coussinets C_1, C_2 (*fig.* 7) décriven deux segments des lignes droites H_1C_1, H_2C_2, tangentes à l'arc de cercle C_1C_2, dont le centre est en M sur l'axe de la voiture.

Disons comment on obtient cet effet. Le dessus du coussinet (*fig.* 5 et 17) porte deux saillies *abcd*, *efgh* venues de fonte et dont la section est rectangulaire. Le dessous du couvercle de la boîte (*fig.* 6 et 17) présente deux creux de même section, mais d'une profondeur un peu plus grande que la

hauteur des saillies *abcd*; en outre leur écartement *b'e'* est moindre que celui des saillies *be*. La boîte étant maintenue sans jeu par les plaques de garde fixées sur les châssis de la voiture, on voit que le coussinet et par suite l'essieu pourront se déplacer horizontalement dans chaque sens de la moitié de la différence des longueurs *be*, *b'e'*.

On a pris pour le rayon MC_1 (*fig.* 7) une longueur de 5^m,778. Avec cette disposition, on peut circuler à très petite vitesse dans les courbes de 150 mètres de rayon, et à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure dans les courbes de 300 mètres de rayon.

Les boîtes radiales permettent au système des essieux de se prêter aux déformations qu'exige le passage dans les courbes sans accroissement sensible de résistance; mais cette solution a un défaut assez grave : quand l'essieu mobile s'est déplacé, rien ne tend à le ramener dans sa position normale, c'est-à-dire dans celle qui correspond à la circulation sur la voie en ligne droite; le système est en quelque sorte indifférent; lorsque l'essieu mobile est à l'arrière, il ne peut résulter de là aucun danger; mais en raison même du but que l'on s'est proposé dans la construction des voitures à vapeur, ces véhicules doivent être propres à circuler dans les deux sens, et il est évident que dans la direction où l'essieu mobile est en avant la voiture peut éprouver des secousses violentes dans le sens horizontal, lorsqu'à la naissance d'une courbe ou pour toute autre cause l'essieu est brusquement déplacé; il y a donc sous ce point de vue encore quelque chose à faire.

Mais dans la marche directe, la stabilité est très grande. Nous avons pu exécuter un voyage de Bruxelles à Bruvelles, par Louvain et Malines, et nous avons été frappé de la douceur de l'allure. Nous avons atteint, sans le moindre mouvement de lacet, une vitesse de 60 kilomètres, déjà élevée eu égard au faible diamètre des roues (0,98). Cette vitesse correspond à 3,6 tours par seconde, mais à cause du peu

d'étendue de la course ($0^m,32$), la vitesse moyenne du piston n'est, dans ces conditions, que de $2^m,30$.

Chaudière. — La chaudière, de forme tubulaire (*fig.* 8 et 9), horizontale, à foyer intérieur, se compose de deux cylindres superposés de $0^m,75$ et 0^m50 de diamètre; ces cylindres se coupent suivant une corde de $0^m,40$ de longueur; le cylindre inférieur est le plus grand; il est garni de tubes sur une partie de sa longueur; à l'autre extrémité, où se trouve le foyer, il est évasé par le bas de manière à présenter une section transversale en forme de cloche de $1^m,15$ d'ouverture en bas.

Le foyer, de même forme dans le sens transversal, a, dans le sens longitudinal, une section rectangulaire, $0^m,60$ de largeur, 1 mètre de hauteur; des tirants verticaux relient les génératrices supérieures du foyer à celles du petit cylindre de la chaudière; des tirants horizontaux, disposés sur deux lignes en quinconces le long des génératrices de raccord des deux cylindres, maintiennent l'écartement des parois; enfin des cornières horizontales consolident les parois planes extrêmes de la chaudière; ces pièces sont placées à l'intérieur.

Cette chaudière tend à se déformer sous l'action de la pression de la vapeur; elle résiste bien, grâce aux puissantes armatures dont elle est munie; sa forme a évidemment été choisie dans le but de créer une vaste chambre de vapeur, de manière à diminuer l'entraînement de l'eau. Peut-être pourrait-on obtenir à moins de frais le même résultat en installant sur une chaudière, forme locomotive, un dôme un peu élevé et communiquant avec le corps de la chaudière par une ouverture d'une faible section; nous disons à moins de frais, parce que la construction d'une virole à rayons de courbure aussi variés et avec une épaisseur de tôle sensiblement uniforme doit présenter de grandes difficultés et coûter par conséquent très cher.

Voici les principaux éléments de la chaudière :

Timbre	10 atmosph.
Diamètre du cylindre supérieur	$0^m,50$
— — inférieur	$0\ ,75$
Surface de la grille	$0^{m2},541$
— de chauffe directe	$2^{m2},429$
— de chauffe tubulaire	$19^{m2},923$
Volume d'eau	$0^{m3},577$
— de vapeur	$0^{m3},498$
Hauteur de la chaudière (non compris le cendrier)	$1^m,65$
Longueur de la chaudière	$2^m,50$
Nombre des tubes en laiton	157
Diamètre intérieur des tubes	28^{mm}
Longueur des tubes	$1^m,50$
Épaisseur des tubes	2^{mm}
Épaisseur des tôles des corps cylindriques	12^{mm}
Épaisseur de la plaque tubulaire en cuivre du foyer	25^{mm}
Épaisseur de la plaque tubulaire de la boîte à fumée	20^{mm}
Épaisseur des feuilles de cuivre du foyer	12^{mm}
Espacement des tubes d'axe en axe	44^{mm}
Diamètre des entretoises en fer	22^{mm}
Poids du générateur vide	3.100^k
Poids des soupapes, grille, etc.	350^k
Poids du charbon dans le foyer	50^k
Approvisionnement du charbon	400^k

La grille (*fig.* 10 et 11) se compose de deux parties : une fixe, dont les barreaux ont $0^m,62$ de long, une mobile (jette feu), dont les barreaux ont $0^m,28$ de long.

Les barreaux sont de forme conique, amincis par le bas ; ils sont faits en fer laminé et placés transversalement dans le foyer ; la partie fixe de la grille est un peu inclinée vers la partie mobile, qui est horizontale. Une enveloppe en tôle (*fig.* 8) forme la boîte à fumée et entoure la chaudière jusque vers son milieu en servant de retour de flamme ; la cheminée est fixée sur cette enveloppe vers son extrémité du côté du foyer.

Quand on supprime l'enveloppe, le tirage ne peut plus se produire; cette particularité doit présenter des inconvénients; si, par exemple, une fuite se déclare dans la partie enveloppée, et si cette fuite n'a lieu qu'à chaud, il doit être bien difficile d'en reconnaître la cause; car, tant que l'enveloppe est en place, on ne peut rien voir; l'enveloppe étant supprimée, le tirage n'a plus lieu et l'on a sans doute bien de la peine à monter en pression.

La chaudière est placée dans le compartiment intérieur de la voiture, son axe à $0^{m},125$ environ en avant de l'essieu; elle occupe presque toute la largeur du compartiment, de sorte que l'on a dû mettre la porte sur le côté (*fig.* 9); c'est pour cela que les barreaux de la grille sont disposés en travers.

Mécanisme. — Le mécanisme est fixé sur une plaque de fer qui porte les deux cylindres, la coulisse et le levier de changement de marche.

Les cylindres sont intérieurs et très rapprochés de l'axe du véhicule; l'essieu moteur est par conséquent doublement coudé. Dans un premier système, la plaque était verticale et reposait, par deux paliers, sur l'essieu moteur. Cette disposition a été abandonnée; on a fait décrire à tout le système une rotation de 90°, de manière à rendre la plaque presque horizontale. L'inclinaison n'est que de 4°; la plaque se trouve alors sous la voiture, dans la partie en porte-à-faux; elle est fixée au milieu de la traverse d'avant au moyen d'une bielle à double articulation (*fig.* 12) qui peut se mouvoir en tous sens autour des tourillons AB et C.

Sur la *fig.* 14, on voit cette bielle ABC; la plaque horizontale qui supporte le mécanisme est suspendue à l'extrémité de la bielle. Du côté opposé, la plaque repose sur l'essieu d'avant O, qui est l'essieu moteur.

La plaque EF est reliée de chaque côté à une pièce GD qui recouvre le coussinet correspondant sur sa moitié antérieure; cette pièce GD est elle-même reliée au moyen de

boulons à la pièce AH, qui complète le palier ; mais, tandis que les pièces GD de droite et de gauche sont séparées les parties HA correspondantes appartiennent à une même pièce de fer AHBH'A' (*fig.* 13); on annule ainsi les réactions, que l'essieu pourrait exercer sur les bielles motrices, si les deux paliers étaient indépendants, et qui pourraient déformer les bielles.

La largeur des coussinets est de $0^m,28$ et leur écartement de $0^m,686$.

Nous avons dit que les deux cylindres sont très rapprochés; leurs axes sont distants l'un de l'autre de $0^m,198$; l'évidement de la pièce AHBH'A' (*fig.* 13) est nécessaire pour le passage des bielles et des coudes de l'essieu.

L'essieu est en acier, il a $0^m,125$ de diamètre; les parties frottantes sont en bronze ; le diamètre des cylindres est de $0^m,17$, la course des pistons est de $0^m,32$.

Le levier de changement de marche est fixé sur la plaque, il est vertical au point mort et se meut dans un plan vertical parallèle aux rails. Il pénètre dans le compartiment de la chaudière par une ouverture ménagée dans le plancher; il est évident que cette pièce doit fouetter en marche ; il paraît que ces mouvements n'altèrent pas la distribution, mais il est à craindre que le mécanicien, en manœuvrant le levier, ne soit exposé à recevoir d'assez fortes secousses, surtout quand l'appareil a pris du jeu, ce qui doit être impossible à éviter.

La coulisse est du système Stephenson et n'offre rien de particulier.

Le poids de la plaque qui porte le mécanisme est de 1.500 kilogr. environ. L'alimentation se fait au moyen de deux injecteurs Giffard. L'eau d'alimentation se trouve dans un bac placé sous la voiture, entre les deux derniers essieux, et contenant 1.000 kilogr. d'eau.

Le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière dans les cylindres doit pouvoir se prêter à certaines déformations,

puisque la chaudière est fixée sur la voiture, tandis que les cylindres reposent sur l'essieu moteur.

Le tuyau de la chaudière et celui des cylindres sont réunis par un bout de tuyau de $0^{m},27$ de long; les deux raccords étant identiques, il suffit de considérer l'un d'eux (*fig.* 15). L'extrémité du tuyau IE de la chaudière, par exemple, se termine par une partie évasée EF en forme de segment de sphère; la pièce médiane BG, symétrique par rapport au plan PP', se termine par une calotte sphérique qui peut s'appliquer exactement à l'intérieur de celle du tube EF; enfin une troisième calotte sphérique LD se termine en D par une partie filetée qui se visse sur le filet correspondant de la genouillère BGA.

La calotte extérieure LD est enfilée sur le tube par l'extrémité I, où l'on a dû à cet effet placer un joint de forme convenable. Quand la calotte est vissée sur la genouillère, le tube EF peut se mouvoir d'une manière suffisante en tous sens entre les deux calottes sphériques qui le maintiennent.

Ce mode de jonction semble devoir exiger une très grande perfection dans le montage; en fait, il paraît que le rodage se fait de lui-même en peu de temps, et que les fuites sont relativement assez rares.

Frein. — Il y a un frein agissant sur les roues du milieu et de l'arrière; ce frein est du système américain, c'est-à-dire du genre de ceux qui sont adoptés sur les voitures de tramways.

Le mécanisme est symétrique par rapport au centre de figure de la voiture, et il est actionné à volonté par l'une des manivelles qui sont situées à l'avant et à l'arrière. Ce frein est insuffisant, mais il est facile de le remplacer par un frein plus énergique manœuvré au moyen d'un volant et agissant de chaque côté de chaque roue.

Puissance de la machine. — La voiture, à charge complète, pèse environ 22.500 kilogr., dont 9.000 kilogr. re-

posent sur l'essieu moteur. En admettant une adhérence de $\frac{1}{7}$, l'effort maximum que la machine peut exercer sur les rails serait de 1.300 kilogr. Les dimensions des cylindres donnent, d'après la formule pratique généralement adoptée, un effort de

$$0,65 \frac{pd^2l}{D} = 0,65 \frac{9 \times 1,033 \times \overline{17}^2 \times 0,32}{0,98} = 570^k.$$

Sur une rampe de 15 millimètres, la gravité représente une résistance de $337^k,5$. Admettons que la résistance, à la vitesse de 30 kilom. est de 6 kilogr., par tonne, ce qui ne paraît pas exagéré, puisque ce chiffre doit représenter les résistances de la voiture considérée comme moteur et comme véhicule ; la résistance totale serait de

$$337,5 + 135,0 = 472^k,5.$$

Il est probable que la perte de pression est plus considérable que nous ne l'avons supposé, en raison des faibles dimensions des tuyaux, des lumières, etc. ; on doit donc considérer la rampe de 15 millimètres comme l'extrême limite admissible avec les dimensions adoptées en Belgique pour la machine.

On peut d'ailleurs évaluer avec plus de précision la force disponible sur la roue motrice.

Le volume d'une cylindrée simple est de $7^{lit.},264$; si donc on suppose une admission de $\frac{1}{4}$, le volume de vapeur correspondant à 4 cylindrées simples ou à un tour des roues motrices, sera de $7^{lit.},264$. La perte de pression de la chaudière au cylindre peut être évaluée à 1 atmosphère, et la contre-pression à 1,1 d'atmosphère; dans ces conditions, le travail développé par kilogr. de vapeur sera

$$0,228 \times 9 \times 10.333 \left(1 + 2,3026 \log 4 - \frac{1,1 \times 4}{9}\right) = 42.125^{km}.$$

La quantité de vapeur introduite dans le cylindre, par tour de roue, étant de

$$\frac{7,264}{228} = 0^k,0318.$$

le travail correspondant est de 1.339^{km}. L'effort exercé en moyenne sur la circonférence de la roue s'élève donc à 435 kilog.

La vapeur qui se rend au cylindre se condense partiellement dans les tuyaux; nous supposerons que la chaudière fournit à chaque tour de roue 7^{lit},264 de vapeur à la pression de 10 atmosphères, que cette vapeur entraîne 15 p.100 de son poids d'eau liquide, et que la vapeur arrive, comme nous l'avons dit plus haut, dans le cylindre avec une pression de 9 atmosphères seulement; la condensation compenserait ainsi l'augmentation de volume que subit la vapeur en passant de 10 à 9 atmosphères. La consommation d'eau serait alors de 40^g,2, dont 5,2 d'eau entraînée pour 4 cylindrées simples, ou en désignant par V la vitesse en kilom. à l'heure, de 13^k,025 V par heure; pour V = 40, on trouve une consommation d'eau de 522 kilog.

Nous avons vu que le réservoir placé sous la voiture ne contenait que 1.000 litres; cette quantité serait probablement trop faible sur une ligne un peu accidentée.

Stabilité de la voiture. — Nous avons indiqué quelques inconvénients que pouvait présenter le système de voitures à vapeur employé en Belgique. Il y a une particularité sur laquelle nous devons surtout appeler l'attention au point de vue de la stabilité.

Le porte-à-faux en avant est de 2^m,120; la chaudière, qui pèse tout compris 3.500 kilogr., a son centre de gravité à 0^m,125 en avant de l'essieu moteur; il résulte de là, surtout à vide, une surcharge énorme de l'essieu moteur, et, ce qui est plus grave, un allégement correspondant des autres essieux.

La conséquence de cet état de choses devrait être une certaine instabilité dans le sens vertical, la voiture tendant à se soulever en tournant autour de l'essieu antérieur ; le jeu entre le dessous des boîtes à huile et la tige inférieure des plaques de garde est de $0^m,10$ au maximum ; nous devons donc supposer, puisque aucune rupture n'a eu lieu, à ce qu'il paraît, dans le dessous des boîtes à huile, que cet intervalle de $0^m,10$ correspond au maximum d'amplitude des oscillations, et que l'objection théorique que nous venons de formuler a moins d'importance qu'il ne semble au premier abord. Nous avons déjà parlé de la douceur de l'allure dans la marche en avant, même à grande vitesse ; le mode de suspension du mécanisme moteur est certainement pour beaucoup dans ce résultat. Le moteur ne peut agir sur le châssis de la voiture que par la bielle de suspension antérieure qui, à raison de la position de son point d'attache et de la liberté de mouvement dont elle jouit, ne peut faire subir au châssis que de très faibles secousses.

On a reproché aux voitures la forme de l'essieu moteur, qui est doublement coudé ; des ruptures ont eu lieu en effet dans les premiers temps ; elles tenaient à des vices de fabrication. Aujourd'hui l'emploi des essieux coudés est général, et l'on est arrivé à très bien les faire. D'ailleurs, plus l'équarrissage d'une pièce est faible, plus il est facile d'en constater les défauts, puisque la probabilité d'un vice intérieur, non visible à la surface, diminue en même temps que la section décroît. On ne doit donc pas attacher d'importance à l'objection que nous venons de rappeler.

Nous avons déjà signalé les vibrations auxquelles est soumis le levier de changement de marche. Enfin, bien que le joint du tuyau de conduite de la vapeur donne des résultats satisfaisants, il faut reconnaître que ces joints sont assez susceptibles de donner des fuites.

Nouvelle disposition du mécanisme. — Pour remédier à ces inconvénients divers, M. Belpaire s'est occupé de mo-

difier l'installation du mécanisme; bien que le nouveau système ne soit pas encore construit, nous en indiquerons le principe.

Au lieu de laisser la plaque qui porte le mécanisme mobile autour du point de suspension à l'avant et maintenue seulement à une distance invariable de l'essieu, on la fixerait par des supports latéraux aux longerons de la voiture. Les tuyaux de conduite de la vapeur deviendraient fixes, le levier de changement de marche pourrait être solidement installé comme dans les locomotives. Il faudrait alors soustraire les bielles motrices à tous les efforts de nature à les fausser.

La *fig.* 16 représente un dessin schématique d'un côté de la plaque, celui de gauche ABCD; le point E est l'axe de la tête de bielle motrice, lorsque le piston est au milieu de sa course. Pour atteindre le but que nous venons d'indiquer, on relie la plaque ABCD à l'essieu au moyen d'une bielle FG, dont la longueur d'axe en axe de ses tourillons est précisément égale à la distance du point E, précédemment défini, à l'axe de l'essieu moteur. Ces bielles auxiliaires ont un très fort équarrissage, et la plaque est renforcée sur son côté BC par une cornière. Les coussinets G sont très larges par rapport à ceux de la bielle motrice, 150 millimètres au lieu de 80 millimètres. L'écartement des deux bielles est de 805 millimètres, tandis que celui des bielles motrices n'est que de 198 millimètres.

Avec ce mode de liaison, l'essieu ne peut se déplacer par rapport à la plaque que dans le sens vertical, son axe décrivant une petite partie d'un cylindre circulaire, dont l'axe serait FF'. Il est d'ailleurs évident que, pour rendre ce dernier déplacement possible, et il est indispensable de le faire, il faudra laisser à la boîte un certain jeu dans les plaques de garde, ce jeu devant être égal à

$$FG(1 - \cos \alpha),$$

en appelant α l'angle maximum décrit par la bielle FG au-dessus de l'horizontale.

Une autre modification consisterait à mettre le mécanisme en arrière de l'essieu d'avant ; enfin peut-être remplacera-t-on les boîtes radiales par un autre système. Nous ne pouvons nous étendre sur ces changements, qui ne sont pas encore arrêtés ; mais nous devons remarquer que, même sous sa forme actuelle, la voiture à vapeur fonctionne très régulièrement et donne de bons résultats.

La charge considérable de l'essieu d'avant, la position transversale de la chaudière presque au-dessus de cet essieu, l'emploi de cylindres intérieurs très rapprochés, le mode de répartition du poids sur les ressorts et l'inégale flexibilité de ces ressorts, le large empatement de la voiture, sont autant de points qui paraissent dès à présent avoir fait leurs preuves, et dont on ne devra pas s'écarter si l'on veut conserver à la voiture une stabilité et une douceur suffisantes.

Il nous reste à indiquer les résultats économiques.

Sur la ligne de Blaton à Bernissart, pendant le premier semestre de 1878, les dépenses de traction ont été les suivantes :

Nombre de jours de travail.	150
Parcours	10.605^k,5
Consommation en marche (houille).	23.450^k
— pour allumage (houille).	4.241^k
Heures de parcours.	743^h
— de stationnement.	1.482^h
— de service.	2.225^h
Consommation par heure de stationnement (houille).	6^k,300
Consommation par kilomètre de marche. . . .	1^k,340
Consommation moyenne par kilomètre (stationnement compris).	2^k,200
Consommation moyenne par kilomètre (stationnement et allumage compris).	2^k,600
Consommation d'huile par kilomètre.	8^g,3

Le personnel se réduit à deux agents : un mécanicien et un conducteur.

Une porte ménagée dans la cloison qui sépare le compartiment de la machine du local des bagages permet à ces deux agents de communiquer entre eux.

La voiture coûte de 25 à 30.000 francs.

Nous devons, en terminant cette note, exprimer à M. Belpaire, administrateur, et à M. Huberti, ingénieur des chemins de fer de l'État en Belgique, tous nos remerciements pour l'obligeance avec laquelle ils ont bien voulu nous fournir les renseignements qui pouvaient nous être utiles.

TABLEAUX

DES

ESSAIS DE COMBUSTIBLES MINÉRAUX

FAITS AU BUREAU D'ESSAI DE L'ÉCOLE DES MINES,

Par M. Ad. CARNOT, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

NOTE PRÉLIMINAIRE.

Le Bureau d'essai de l'École des mines reçoit et analyse chaque année de 600 à 800 échantillons des substances minérales les plus variées : minerais de toutes sortes, métaux et alliages, combustibles, calcaires, chaux et ciments, eaux minérales et eaux potables, phosphates, engrais minéraux, etc. Ces analyses sont faites sur la demande des administrations ou des particuliers. Les résultats en sont inscrits sur les registres du laboratoire et communiqués aux personnes intéressées ; mais ils ne sont point publiés.

Le nombre des analyses ou essais exécutés depuis la fondation du bureau d'essai en 1845 s'élève aujourd'hui à 23.000. Il nous a semblé que la connaissance d'une partie d'entre eux pourrait avoir quelque utilité, soit pour l'industrie minière ou métallurgique, soit pour la médecine et l'hygiène, soit pour l'agriculture.

L'administration nous a autorisé, en 1878, à publier, pour être présentées à l'Exposition universelle, trois importantes séries de ces documents : 1° les analyses des *minerais de fer de la France et de l'Algérie ;* 2° les analyses des *eaux minérales et des eaux potables de la France ;* 3° les essais des *phosphates de chaux de la France* (*).

L'accueil fait à ce travail nous a montré qu'il avait eu en effet son utilité. Il nous encourage à présenter aujourd'hui une nouvelle série, relative aux *essais de combustibles minéraux.*

Nous avons réuni sous forme de tableaux les résultats des essais exécutés sur les houilles, les anthracites ou les lignites de la France, de l'Algérie et des colonies françaises. Nous avons cru de-

(*) Dunod, éditeur, 1878.

voir y faire figurer aussi ceux qui se rapportent à des combustibles provenant de diverses contrées de l'Europe, et qu'il peut être intéressant de comparer aux combustibles d'origine française.

Les essais ont été faits dans des conditions uniformes, en suivant la marche tracée par Berthier dans son *Traité des essais par la voie sèche*.

Une calcination en creuset fermé, conduite lentement, dégage les *matières volatiles* et donne un résidu fixe dont on détermine la proportion et la qualité. On constate si ce résidu est pulvérulent ou s'il présente, au contraire, les caractères d'un *coke* plus ou moins aggloméré, compacte ou boursouflé.

Le grillage à l'air du combustible naturel ou celui du résidu fixe précédemment obtenu laisse des *cendres*, qui peuvent être principalement siliceuses, argileuses, calcaires ou ferrugineuses. On constate la nature de ces cendres et leur poids comparé à celui du combustible primitif.

Les résultats de ces essais permettent de préjuger assez bien les qualités que pourra présenter pour l'industrie tel ou tel combustible et de se rendre compte, par exemple, s'il peut être employé à la fabrication du gaz ou à celle du coke métallurgique, s'il convient pour la forge maréchale, pour le chauffage des appareils à vapeur, pour celui des fours à réverbère, etc.

Les renseignements précédents sont assez souvent complétés par l'indication de la valeur calorifique des combustibles. On la détermine d'une manière simple et rapide, sinon très rigoureuse, en admettant qu'elle est sensiblement proportionnelle, dans les divers charbons, à la quantité d'oxygène nécessaire pour brûler un même poids de chacun d'eux. On cherche à cet effet quelle est la quantité de plomb métallique que peut produire 1 gramme du combustible à essayer, par calcination avec un excès de litharge, et on compare le poids obtenu à celui que donnerait dans les mêmes conditions 1 gramme de charbon pur. Le rapport des deux poids, exprimé en centièmes, figure dans les tableaux sous le titre de *pouvoir calorifique*.

Si l'on multiplie ce rapport par le nombre 80,80, qui exprime en calories la quantité de chaleur dégagée par la combustion de $\frac{1}{100}$ de kilogramme de charbon pur, le produit trouvé représente, avec une approximation suffisante pour la pratique, le nombre de calories que l'on peut obtenir en brûlant 1 kilog. du combustible.

Les tableaux qui suivent (voir pages 426 et suiv.) contiennent les résultats des essais faits sur 843 échantillons de combustibles minéraux. Sur ce nombre, 700 provenaient de France même et

avaient été recueillis dans 51 départements différents; 37 avaient été fournis par l'Algérie et les colonies françaises; 106 étaient d'origine étrangère.

Nous avons indiqué, pour chacun d'eux, la date de l'essai, le nom de la personne qui avait fait l'envoi, enfin le lieu d'origine du combustible avec autant d'exactitude que possible. Nous n'avons pas toujours pu obtenir à cet égard toute la précision que nous aurions désirée; mais souvent aussi, et surtout pour les séries nombreuses d'échantillons provenant d'un même bassin houiller, les détails donnés dans les lettres d'envoi nous ont permis de faire connaître la couche et le puits d'où chacun avait été extrait.

Nous terminerons cette courte note par une observation relative à la disposition matérielle des tableaux. Pour éviter de les charger inutilement, on n'a inscrit qu'une seule fois certains renseignements qui se rapportaient à plusieurs échantillons : par exemple, la mention « *cendres siliceuses* », placée à l'entrée d'une ligne horizontale, s'applique à tous les échantillons de la même ligne; la mention abrégée « *pas de coke* » signifie que la calcination n'a donné, pour aucun d'eux, un résidu aggloméré, qui méritât le nom de coke.

DÉPARTEMENT DE L'AIN.

ARRONDISSEMENT DE BOURG-EN-BRESSE.

Canton et commune de Ceyzeriat (1 à 3);
Canton et commune de Coligny (4 et 5).

	LIGNITES.		HOUILLE	LIGNITES.	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles .	63,6	59,1	21,0	64,3	44.1
Carbone fixe......	24,4	26,7	52,3	20,2	19,3
Cendres siliceuses.	12,0	14,2	26,7	15,5	36,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke............	Léger	Léger	Peu aggloméré	Pulvérulent.	Pulvérulent.

(1 à 3) M. Vérard. — Décembre 1851.
(4.5) M. Gaidan. — Juillet 1856.

DÉPARTEMENT DE L'AISNE.

ARRONDISSEMENT DE CHATEAU-THIERRY (1).

ARRONDISSEMENT DE SOISSONS.

Canton de Villers-Cotterets, Javage (2).

	LIGNITES.	
	(1)	(2)
Matières volatiles...............	52,0	48,67
Carbone fixe	30,0	27,33
Cendres ferrugineuses	18,0	24,00
	100,0	100,00
Pas de coke		
Pouvoir calorifique..............	44,9	42,0

(1) M. Coquerde. — Avril 1858.
(2) M. Bataille. — Juillet 1870.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER.

ARRONDISSEMENT DE MONTLUÇON.

Canton et commune de Commentry.

	HOUILLES.			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Matières volatiles..	35,0	31,2	32,8	33,0
Carbone fixe......	55,0	58,8	56,8	57,0
Cendres silic. et ferr.	10,0	10,0	10,4	10,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke peu boursouflé				
Pouvoir calorifique.	77,0	73,5	72,6	73,0

(1) M. Callon. — Juin 1851.

(2 à 4). M. Morineau. — Juin 1868.

Canton d'Hérisson, commune d'Estivareilles.

	HOUILLES.			
	(5)	(6)	(7)	(8)
Matières volatiles..	20,6	34,8	31,0	28,2
Carbone fixe......	20,9	31,2	30.0	33,8
Cendres silic. et arg.	58,5	34,0	39,0	38,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke.............	Pulvérulent	Aggloméré	Aggloméré	Aggloméré

(5 à 8). M. de Renneville. — Août 1857.

Canton de Montluçon, commune de Deneuille.

	ANTHRACITES.			
	(9)	(10)	(11)	(12)
Matières volatiles..	9,8	8,2	12,5	11,0
Carbone fixe......	77,6	83,3	75,2	71,3
Cendres siliceuses..	12,6	8,5	12,3	17,7
	100,0	100.0	100,0	100,0
Pas de coke.				
Pouvoir calorifique.	82,6	89,0	80,0	78,0

(9.10). M. Gaudin. — Décembre 1871.

(11). M. de Fourcy. — Juin 1850.

(12). M. Salomon. — Août 1862.

ARRONDISSEMENT DE MONTLUÇON.

Canton de Montmarault. { Commune de Doyet (13-14). Commune de Bézenet (15 à 17).

	ANTHRACITES.		HOUILLES.		
	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
Matières volatiles...	9,8	7,0	31,0	29,0	32,3
Carbone fixe.......	86,2	83,6	47,4	51,0	59,3
Cendres siliceuses ..	4,0	9,4	21,6	20,0	8,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Pulvér.	Pulvér.	Aggloméré.	Aggloméré.	Aggloméré.
Pouvoir calorifique..	93,0	87,0	61,2	63,0	77,0

(13) M. de la Romagère. — Mai 1849.
(14) M. Tardieu. — Janvier 1857.
(15-16) M. Morineau. — Juin 1868.
(17) M. Rousseau. — Novembre 1868.

Canton de Montmarault, commune de Villefranche.

	ANTHRACITES.			HOUILLES.	
	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
Matières volatiles...	11,0	6,0	13,0	34,2	43,0
Carbone fixe.......	57,4	44,0	73,6	46,2	51,4
Cendres siliceuses ..	31,6	50,0	13,4	19,6	5,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Pulvér.	Pulvér.	Pulvér.	Assez boursouflé.	Assez boursouflé.

(18 à 21) M. de la Valette. — Avril 1869.
(19-20) M. Mouillard. — Juillet 1860.
(22) M. Lan. — Mai 1873.

ARRONDISSEMENT DE MOULINS.

Canton de Bourbon-l'Archambault, commune de Buxières-la-Grue.

	HOUILLES.					
	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)
Matières volatiles...	39,4	38,6	39,8	42,6	42,4	42,9
Carbone fixe.......	47,4	43,6	42,9	41,9	44,7	46,6
Cendres..........	13,2	17,8	17,3	15,5	12,9	10,5
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pouvoir calorifique..	68,0	62,0	63,0	62,9	66,0	68,0

(23 à 25). M. Delabrousse. — Septembre 1847. — (26 à 28). Octobre 1847.

	HOUILLES.					
	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)
Matières volatiles...	44,0	43,0	41,6	31,6	31,0	34,6
Carbone fixe.......	42,9	43,9	45,4	50,4	48,2	51,4
Cendres...........	13,1	13,1	13,0	18,0	20,8	14,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pouvoir calorifique..	65,1	67,5	68,3	74,7	72,3	75,2

(29 à 31). M. Delabrousse. — Octobre 1847.
(32 à 34), M. Callon. — Août 1877.

ARRONDISSEMENT DE LA PALISSE.

Canton de Jaligny, commune de Bert.

	HOUILLES.		
	(35)	(36)	(37)
Matières volatiles...	41,4	42,0	38,4
Carbone fixe.......	50,0	49,4	45,6
Cendres argileuses..	8,6	8,6	16,0
	100,0	100,0	100,0
Coke bien aggloméré			
Pouvoir calorifique..	70,0	69,0	65,0

M. Blanchard. — Juin 1868.

DÉPARTEMENT DES BASSES-ALPES.

ARRONDISSEMENT DE FORCALQUIER.

Canton et commune de Manosque.

	LIGNITES.		
	(1)	(2)	(3)
Matières volatiles......	53,4	47,2	37,0
Carbone fixe...........	41,2	47,0	33,4
Cendres siliceuses	5,4	5,8	29,6
	100,0	100,0	100,0
Coke boursouflé.			
Pouvoir calorifique.....	62,0	70,0	53,0

MM. Buisson et Robert. — Juin 1856.

ARRONDISSEMENT DE SISTERON.

Canton de Sisteron, commune de St-Geniez de Dromon.

	ANTHRACITES.			LIGNITE.
	(4)	(5)	(6)	(7)
Matières volatiles..	12,6	14,4	13,0	46,5
Carbone fixe	76,8	78,6	73,0	27,3
Cendres siliceuses .	10,6	7,0	14,0	26,2
	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de Coke.				
Pouvoir calorifique.	83,0	85,0	80,8	52,3

M. de Minguy. — Mai 1861.

DÉPARTEMENT DES HAUTES-ALPES.

ARRONDISSEMENT DE BRIANÇON.

Canton du Moustier de Briançon.

	ANTHRACITE.
Matières volatiles...............	9,6
Carbone fixe....................	72,4
Cendres argileuses.............	18,0
	100,0
Pas de Coke.	

M. Toffart. — Novembre 1855.

DÉPARTEMENT DES ALPES-MARITIMES.

ARRONDISSEMENT DE GRASSE.

Canton de Vence, St-Raphaël (1).
Canton et commune de St-Vallier (2-3).

ARRONDISSEMENT DE NICE.

Vascagne (4.5).

	LIGNITES.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles ...	45,0	32,6	52,8	45,6	46,4
Carbone fixe	45,0	31,8	44,4	45,0	44,0
Cendres silic. et ferr.	10,0	35,6	2,8	9,4	9,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					

(1) M. Raybaud. — Mars 1858.
(2.3) M. Lacour. — Mars 1873.
(4.5) M. Bardon. — Mars 1874.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE.

ARRONDISSEMENT DE L'ARGENTIÈRE.

Canton de Thueyts, commune de Prades.

	ANTHRACITES.				
	(1) Glandette.	(2) Crouzonne.	(3) Charbonnière.	(4) Plalade.	(5) La Lange.
Matières volatiles...	10,6	10,0	7,8	5,6	9,2
Carbone fixe.......	81,8	84,6	70,6	72,4	84,0
Cendres siliceuses ..	7,6	5,4	21,6	22,0	6,8
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					
Pouvoir calorifique..	85,0	89,4	74,5	74,1	89,8
	(6) Grande veine.	(7) Bois de Vez v. inferieure	(8) Bois de Vez v. moyenne	(9) Bois de Vez v. supérieure (choix).	(10) Bois de Vez v. supérieure
Matières volatiles ...	7,2	9,2	9,2	8,2	8,0
Carbone fixe	86,4	65,8	65,4	83,8	73,0
Cendres siliceuses ..	6,4	25,0	25,4	8,0	19,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					
Pouvoir calorifique..	91,0	»	»	89,0	»

(1 à 5) M. Monet. — Octobre 1856.

ARRONDISSEMENT DE L'ARGENTIÈRE (*Suite*).

	ANTHRACITES.				
	(11) Char-bonnière.	(12) Char-bonnière.	(13) Char-bonnière. (le four).	(14) Crouzonne. (Victoire).	(15) Crou[illegible] (La Bri[illegible]
Matières volatiles...	7,6	9,2	10,2	7,8	8,3
Carbone fixe	73,4	86,8	75,8	87,2	69,[illegible]
Cendres siliceuses...	19,0	4,0	14,0	5,0	22,[illegible]
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					
	(16) Mandras. (Turne).	(17) Mandras. (Four).	(18) Grande mine (Criblé).	(19) Grande mine Puits central (droite).	(20) Grande mi[illegible] Galerie droite.
Matières volatiles...	11,0	11,6	10,0	9,0	9,8
Carbone fixe.......	76,2	81,4	69,8	82,0	80,8
Cendres	12,8	7,0	20,2	9,0	9,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					

(6 à 20). M. Ledoux. — Mars 1875.

DÉPARTEMENT DE L'ARIÈGE.

ARRONDISSEMENT DE FOIX.

Canton et commune de Lavelanet (1-2) Villeneuve (3).

ARRONDISSEMENT DE ST-GIRONS.

Canton de St-Girons, commune de Castelnau-Durban (5).
Canton de Sainte-Croix, commune de Cérézols (4).

	LIGNITES.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles...	55,2	43,7	40,0	47,0	49,2
Carbone fixe.......	39,8	50,2	42,0	34,8	49,6
Cendres argil. et ferr.	5,0	6,1	18,0	18,2	1,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					
Pouvoir calorifique..	61,0	69,0	55,0	52,0	66,6

(1) M. J. De Bonne. — Décembre 1860.
(2-3) M. Rouzaud. — Février 1861.
(4) M. Gesse. — Février 1878.
(5) M. Arnoult. — Août 1878.

DÉPARTEMENT DE L'AUDE.

ARRONDISSEMENT DE LIMOUX.

Canton de St-Hilaire, commune de la Caunette-sur-Lauquet (1),

ARRONDISSEMENT DE NARBONNE.

Canton de Narbonne (2).
Canton de Ginestas, commune de Bize (3).

	LIGNITES.		
	(1)	(2)	(3)
Matières volatiles......	51,2	36,6	51,6
Carbone fixe..........	21,0	26,8	44,4
Cendres argileuses.....	27,8	36.6	4,0
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.			

(1) M. Arnaud de l'Ariège. — Juillet 1856.
(2) M. d'Almeyda. — Janvier 1866.
(3) M. Virlet d'Aoûst. — Juin 1874.

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON.

ARRONDISSEMENT DE MILHAU.

Canton de Laissac, { commune de Laissac (1). / commune de Bertholène (2).
Canton de Milhau, commune de Saint-Georges (3 et 4).
Canton de Naut, commune de Bruel (5 à 7).
Canton de Severac-le-Château, comm. de Prévenquières (8-9).

	HOUILLES.			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Matières volatiles..	34,9	27,6	38,3	36,6
Carbone fixe......	56,4	41,9	52,0	50,4
Cendres..........	8,7	30,5	9,7	13,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke bien aggloméré				

(1 2). M. Callon. — Février 1758.
(3-4). M. Combes. — Juillet 1858.

ARRONDISSEMENT DE MILHAU (*suite*).

	HOUILLES.				
	(5) Ceral	(6) Lavagnol	(7) Ravin	(8)	(9)
Matières volatiles...	40,6	38,8	38,0	25,9	29,6
Carbone fixe.......	47,0	49,8	48,8	55,7	65,0
Cendres...........	12,4	11,4	13,2	18,4	5,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke bien aggloméré					

(5 à 7). M: Van Hende. — Juin 1868.
(8-9). M. Mauriac. — Novembre 1854.

ARRONDISSEMENT DE RODEZ.

Canton de Bozouls, commune de Montroziers (10 à 14).
Canton de Rignac, commune d'Auzits (15-16). — Ruhl (17 à 22).

	HOUILLES.				
	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Matières volatiles...	34,2	36,2	32,5	30,0	37,8
Carbone fixe.......	55,8	59.5	62,9	56,6	55,8
Cendres siliceuses...	10,0	4,3	4,6	13,4	6,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke un peu boursouf.					

(10). M. de Villecomtal. — Juillet 1866.
(11-12) M. Callon. — Février 1858.
(13-14). M. Petitgand. — Février 1854.

	HOUILLES.			
	(15)	(16)	(17)	(18)
Matières volatiles..	31,0	38,8	33,6	40,0
Carbone fixe......	58,4	54,2	60.8	56,8
Cendres argileuses.	10,6	7,0	5,6	3,2
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke	Boursouflé.	Boursouflé.	Ass. boursouf	Ass. boursouf.

(15 16). M. Lambert. — Février 1861.
(17 à 22). M. Duval — Mars 1860.

ARRONDISSEMENT DE RODEZ (*suite*).

	HOUILLES.			
	(19)	(20)	(21)	(22)
Matières volatiles..	33,0	36,0	30,0	39,0
Carbone fixe......	55,8	57,4	55,0	56,0
Cendres argileuses.	11,2	6,6	15,0	5,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke	Boursouflé.	Ass. boursouf.	Boursouflé.	Boursouflé.

ARRONDISSEMENT DE VILLEFRANCHE.

Canton d'Aubin, commune de Decazeville.

	HOUILLES.		
	(23) Gros lavé.	(24) Latapie.	(25) Passe-laygue.
Matières volatiles......	37,1	33,0	41,6
Carbone fixe	60,8	61,0	52,4
Cendres siliceuses......	2,1	6,0	6,0
	100,0	100,0	100,0

Coke compacte.

(24) M. Callon. — Février 1858.

(24.25) M. Le Chatelier. — Décembre 1858.

DÉPARTEMENT DES BOUCHES-DU-RHONE.

ARRONDISSEMENT D'AIX.

Canton de Trets, commune de Fuveau. — Castellane.

	LIGNITES.	
	(1) Veine supérieure.	(2) Veine inférieure.
Matières volatiles	46,0	46,0
Carbone fixe.....................	46,4	43,6
Cendres siliceuses	7,6	10,4
	100,0	100,0

Coke mal aggloméré, très friable.

M. de Lambilly. — Novembre 1867.

DÉPARTEMENT DU CANTAL.

ARRONDISSEMENT DE MAURIAC.

Canton de Saignes, commune de Champagnac (1 à 8).
Canton de Mauriac, Vallée-d'Auze (9-10).

	HOUILLES. Puits de Lempret.			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Matières volatiles..	24,0	23,8	23,8	26,4
Carbone fixe	67,6	62,3	65,8	64,8
Cendres silic. et ferr.	8,4	14,4	10,4	8,8
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke............	Boursouflé.	Un peu boursouflé.	Boursouflé.	Boursouflé.
	(5) Fourets.	(6) Fourets.	(7) Vaissier.	(8)
Matières volatiles..	31,2	27,4	30 8	35,2
Carbone fixe	65.6	63,0	55,6	58,0
Cendres silic. et ferr.	3,2	9,6	13,6	6,8
	100,0	100.0	100,0	100,0
Coke	Très-boursouflé.	Boursouflé.	Peu boursouflé	Peu boursouflé

(1 à 6) M. Ledoux. — Juin 1875.
(7-8) M. Dubreuil. — Mai et Décembre 1875.

	ANTHRACITES.	
	(9)	(10)
Matières volatiles...............	8,0	5,6
Carbone fixe....................	55,6	53,8
Cendres.......................	36,4	40,6
	100,0	100.0

M. Loubet. — Février 1879.

DÉPARTEMENT DE LA CORRÈZE.

ARRONDISSEMENT DE BRIVE.

Canton de Juillac { commune de Saint-Bonnet-la-Rivière (1).
commune de Chabrignac (2).

	HOUILLE.	
	(1)	(2)
Matières volatiles	30,7	31,4
Carbone fixe	57,6	61,0
Cendres argileuses.	11,7	7,6
	100,0	100,0
Pas de coke.		

M. Fuchs. — Avril 1874.

DÉPARTEMENT DE LA CORSE.

ARRONDISSEMENT D'AJACCIO.

Canton d'Evisa, commune d'Osani (1 à 5).

ARRONDISSEMENT DE CORTE.

Canton de Corte (6).

	ANTHRACITES.					HOUILLE.
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Matières volatiles	6,0	8,4	7,0	7,0	11,0	46,0
Carbone fixe	88,0	77,6	85,0	84,6	80,4	51,8
Cendres siliceuses	6,0	14,0	8,0	8,4	8,6	2,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.						

(1 à 5) M. Paillette. — Décembre 1857.
(6) M. Salomon. — Août 1858.

DÉPARTEMENT DE LA COTE-D'OR.

ARRONDISSEMENT DE SEMUR.

Canton de Semur, commune de Monberthaut (1).
Canton de Précy-sur-Thill, commune de Sincey-les-Rouvray (2-3).

	ANTHRACITES.		
	(1)	(2) V. Inférieure.	(3) V. Supérieure.
Matières volatiles	11,6	8,0	8,6
Carbone fixe	59,6	73,2	70,8
Cendres	28,8	18,8	20,6
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.			
Pouvoir calorifique	65,8	78,0	71,0

(1) M. de Guitaut. — Juin 1867.
(2-3) M. Rey. — Avril 1876.

DÉPARTEMENT DE LA CREUSE.

ARRONDISSEMENT D'AUBUSSON.

Canton de Chénerailles, commune de Lavaveix, bassin d'Ahun (1 à 4).
Canton de Saint-Sulpice-les-Champs, commune de Saint-Michel de Veisse (5 à 7).

	HOUILLES.			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Matières volatiles	19,4	19,0	14,0	17,0
Carbone fixe	64,4	65,8	67,2	77,0
Cendres argileuses et siliceuses	16,2	15,2	18,8	6,0
	100,0	100,0	100,0	100,0

(1-2) M. Morineau. — Juin 1868.
(3-4) M. Dupont. — Juillet 1870.

ARRONDISSEMENT D'AUBUSSON. *(Suite).*

	HOUILLES.		
	(5)	(6)	(7)
Matières volatiles	20,0	18,8	23,6
Carbone fixe	44,0	57,2	56,0
Cendres argileuses	36,0	29,0	20,4
	100,0	100,0	100,0

M. Piérard. — Juillet 1851.

ARRONDISSEMENT DE BOUSSAC.

Canton et commune de Chambon-sur-Voueize.

	HOUILLES.		
	(8)	(9)	(10)
Matières volatiles	18,0	17,2	15,8
Carbone fixe	60,6	37,8	34.6
Cendres argileuses et siliceuses	21,4	45,0	49.6
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.			

M. Dousseau. — Septembre 1871.

DÉPARTEMENT DE LA DORDOGNE.

ARRONDISSEMENT DE SARLAT.

Canton de Carlux, commune de Simeyrols (1).

Canton de Domme { Commune de Veyrinnes (2).
Commune de la Chapelle-Péchaud (3).

	LIGNITES.		
	(1)	(2)	(3)
Matières volatiles	53,0	54,7	59,2
Carbone fixe	36,6	38,5	30,2
Cendres ferrugineuses	10,4	6,8	10,6
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.			

(1) M. de Langlade. — Août 1878.
(2) M. Delaire. — Avril 1878.
(3) M. de Laverrie de Vivant. — Juin 1878.

DÉPARTEMENT DE LA DROME.

ARRONDISSEMENT DE DIE (1.2)

ARRONDISSEMENT DE MONTÉLIMAR.

Canton de Grignan. — Montjoyer. (3.4).

ARRONDISSEMENT DE VALENCE.

Canton de Grand-Serre, commune de Hauterives (5).

	LIGNITES.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles	58,0	52,0	57,6	60,0	50,0
Carbone fixe	39,0	38,0	27.2	29,7	25,7
Cendres siliceuses et ferrugineuses	3,0	10,0	15,2	10,3	24,3
»	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke					

(1-2) M. Clerc. — Juillet 1857. — Avril 1858.
(3) Boulangier. — Janvier 1857.
(4) M. de Saint-Laure. — Juillet 1865.
(5) M. Paillette. — Juillet 1857.

DÉPARTEMENT DU FINISTÈRE.

ARRONDISSEMENT DE QUIMPER.

Canton de Pont-Croix { commune d'Audierne (1 à 4). commune de Cleden (5 à 8).

	HOUILLES.			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Matières volatiles..	14.8	16,0	25,0	21,4
Carbone fixe	80,2	79,0	70,0	74,0
Cendres siliceuses..	5.0	5,0	5,0	4,6
	100,0	100.0	100,0	100,0
Pas de coke,				
Pouvoir calorifique.	85,3	82,0	80,5	81 0

M. de Messonan. — Avril 1857.

	HOUILLES.			
	(5) Providence.	(6) Providence.	(7) Ste Barbe.	(8) Ste Barbe.
Matières volatiles..	16,0	17,0	20,0	16,0
Carbone fixe	81,0	78,3	73,0	82,3
Cendres	3,0	4,7	7,0	1,7
	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.				
Pouvoir calorifique.	91,2	87,0	80,0	94,2

M. Godefroy. — Avril 1857.

DÉPARTEMENT DU GARD.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS

Canton et commune de la Grand'Combe.

	HOUILLES.					
	(1) Fin-Therond	(2) Misotte. Therond.	(3) Dur, trou du mulet.	(4) Dur Gazay.	(5) Sous-garde Thérond.	(6) Sous-garde trou du mulet.
Matières volatiles.	14,6	19,0	21,6	14,6	18,6	19,2
Carbone fixe.....	78,0	71,8	67,0	75,8	69,6	72,6
Cendres.........	7,4	9,2	11,4	9,6	11,8	8,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Pulvérulent.	Peu boursouflé	Très boursouflé	Pulvérulent.	Compacte	Boursouflé
	(7) Garde-trou du mulet.	(8) La Levade Mourier.	(9) Les Cisailles Mourier.	(10) Batarde de la touche Mourier.	(11) Le Lard.	(12) 3 machoires Banc inférieur.
Matières volatiles.	19,0	22,0	21,2	23,0	21,6	21,0
Carbone fixe.....	72,0	71,6	70,2	71,0	71,3	72,4
Cendres.........	9,0	6,4	8,6	6.0	7.1	6,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Compacte	Boursouflé	Compacte
	(13) 3 machoires Banc intermédiaire.	(14) 3 machoires Banc supérieur.	(15) 2 pans.	(16) Minette.	(17) La tranche.	(18) La levade Roux.
Matières volatiles.	25,8	22,6	22,8	23,6	20,8	20 6
Carbone fixe.....	70,2	73,4	71,0	71,2	69,8	74,6
Cendres.........	4,0	4,0	6,2	5,2	9.4	4,8
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Boursouflé	Boursouflé	Très boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Pulvérulent.

M. Callon. — Décembre 1851.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS. *(Suite).*

	HOUILLES.					
	(19) 1re Couche. Grande Baume Luce.	(20) 1re Couche. Mine luce.	(21) 1re Couche. Grand banc. Inférieur Rase.	(22) Grande Baume. Mine luce Inférieur 7.	(23) Grande Baume. Mine luce 6 Inférieur 5.	(2 Mine l 1re C Infér
Matières volatiles.	22,2	21,6	21,6	21,0	22,4	19,
Carbone fixe.....	66,2	71,0	73,2	71,8	66,4	68,
Cendres	11,6	7,4	5,2	7,2	11,2	12,
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100.
Coke...........	Boursouflé	Boursouflé	Compacte	Boursouflé	Peu boursouflé	Bours

	(25) Mine luce. 1re C. Inférieur 7.	(26) Mine luce. 1re C. Inférieur 8.	(27) Mine luce. 1re C. Superieur 1.	(28) Mine luce. 1re C. Supérieur 2. Sous-cave.	(29) Mine luce. 1re C. Supérieur 3. Rase.	(30 Mine Abi 2e C. Minette
Matières volatiles.	20,6	23,0	26,6	23,6	22,4	24,0
Carbone fixe.....	65,6	63,4	59,5	67,0	64,6	64,9
Cendres	13,8	13,6	13,9	9,4	13,0	11,1
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100.0
Coke	Non boursouflé	Compacte	Boursouflé	Boursouflé	Compacte	Bours

	(31) Abilon. Minette. 2e C. (2)	(32) Abilon. Inférieure. 2e C. (3)	(33) Abilon. 3e C. Batarde. (1)	(34) Abilon. 3e C. 12 sole.	(35) Abilon. 3e C. 3 sous-cave.	(36). Abilon. 3e C. 4 ras
Matières volatiles.	23,6	23,6	19,8	25,6	21,6	23,
Carbone fixe.....	70,2	63,0	75,0	66,9	72,0	65,
Cendres	6,2	13,4	5,2	7,5	6,4	11,
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Bours

M. Callon. — Octobre 1852.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS (*suite*).

	HOUILLES.				
	(37) Abilon. 3e Couche. 5. planche inférieure.	(38) Abilon. 3e Couche. 6. planchette	(39) Abilon. 3e Couche. Haute planche.	(40) Abilon. 3e Couche. Fournier (batarde).	(41) Abilon. 3e Couche Fournier (sole).
Matières volatiles,...	21,8	23,6	23,4	19,0	19,0
Carbone fine.........	68,8	67,8	69,6	77,2	77,4
Cendres...........	9,4	8,6	7,0	3,8	3,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé
	(42) Abilon. 3e C. Fournier (sous-cave).	(43) Abilon. 3e C. Fournier (rase).	(44) Abilon. 3e C. Fournier (planche inférieure)	(45) Abilon. 3e C. Fournier. (planchette).	(46) Abilon. 3e C. Fournier (haute planche).
Matières volatiles...	21,6	22,4	20,6	19,8	20,4
Carbone fixe.........	68,1	70,2	74,2	75,0	75,2
Cendres...........	10,3	7,4	5,2	5,2	4,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Compacte	Boursouflé
	(47) 11e Couche. La Cantelato	(47) 12e Couche. Levy-Louis	(49) 13e Couche. Barraque.	(50) 14e Couche. La Minelte.	(51) 15e Couche. Les Portraits. B. inférieur.
Matières volatiles....	20,3	20,0	23,0	21,2	21,6
Carbone fixe.........	73,4	77,2	67,0	74,6	71,0
Cendres...........	6,3	2,8	10,0	4,2	7,4
	100,0	100,0	100,0	100,00	100,0
Coke..............	Boursouflé	Compacte	Compacte	Peu boursouflé	Boursouflé

(37 à 46). M. Callon. — Octobre 1852.. — (47 à 51). Janvier 1855.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS (*suite*).

	HOUILLES.				
	(52) Les portraits Banc sup^{r} 15e Couche	(53) Le plomb. 16e Couche.	(54) Le Bouquet. 17e Couche.	(55) Ste-Barbe. 18e Couche.	(56) C. Du Pont du Champ lauson
Matières volatiles...	22,6	23,8	22,8	23,0	27,4
Carbone fixe.......	68.0	66,0	73,2	69,8	53,4
Cendres..........	9,4	10,2	4,0	7,2	19,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100.3
Coke.............	Boursouflé	Boursouflé	Compacte	Très-boursouflé	Friable

M. Callon. — Janvier 1855.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS.

Canton d'Alais, commune de Cendras. { Malataverne (57). Comberedonde (58-61).

	ANTHRACITES.				
	(57) Puits Recussot.	(58)	(59)	(60)	(61)
		Couche Champelauzos.			
Matières volatiles...	15 0	13,0	10,0	10 0	10,0
Carbone fixe.......	80,1	80,0	80.0	81,0	79,0
Cendres silic. et ferr.	4,9	7,0	10,0	9,0	11,0
	100,0	100,0	100,0	100.0	100,0
Pas de coke.					
Pouvoir calorifique..	87,3	87,9	86,6	86,0	85,0

(57). M. Deleye. — Juillet 1860.
(58 à 61). M. Crespon. — Mars 1858.

ARRONDISSEMENT DU VIGAN.

Canton et commune de Sumène (62).
Canton de Trèves, commune de Lanuejols (63-64).

	HOUILLES.		
	(62)	(63)	(64)
Matières volatiles...............	20,0	41,2	41,0
Carbone fixe....................	72,0	43,2	50,6
Cendres........................	8,0	5,6	8.4
	100,0	100,0	100.0
Coke..........................	Compacte	Non boursouf.	Non boursouf.

(62). M. Faulquier. — Janvier 1879.
(63-64). M. Joly. — Mai 1860, mai 1874.

ARRONDISSEMENT D'UZÈS.

Canton d'Uzès, commune de Serviers-et-la-Baume (65-66).
Canton de Roquemaure, commune de Laudun (67-68).

	HOUILLES.		LIGNITES.	
	(65)	(66)	(67)	(68)
Matières volatiles..	38,0	37,6	48,0	51,8
Carbone fixe......	51,9	49,4	82,4	37,6
Cendres siliceuses..	10,1	13,0	19,6	10,6
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke	Bien aggloméré	Bien aggloméré	Pulvérulent	Pulvérulent

(64-66). M. Joly. — Juillet 1870.
(67-66). M. Fuchs. — Janvier 1871.

DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS.

Bassin de Graissessac.

Canton de Saint-Gervais, { commune de Castanet (1). commune de St-Geniez de Varonsal (2). commune de Saint-Gervais (3 à 5).

	ANTHRACITES.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles...	11,0	10,0	9,5	9,7	13,0
Carbone fixe.......	86,6	79,0	82,0	85,3	84,0
Cendres...........	2,4	11,0	8,5	5,0	3,0
	100.0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					

(1). M. Pérusse. — Octobre 1873.
(2). Société de Saint-Geniez. — Avril 1856.
(3 à 4). M. Traxler. — Août 1846.

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS. (*Suite*).

Canton de Bédarieux. { Commune de Camplong (6 à 11). Commune de Boussague (12 à 15).

	HOUILLES.				
	(6) Mine Garella la Dame.	(7) Mine Garella Grand peu de Brochin.	(8) Mine Garella Grand peu du Devoir.	(9) Mine Garella Passet du Devoir.	(10) Mine Garella Brochin.
Matières volatiles...	18,0	18,2	19,2	17,0	18,2
Carbone fixe.......	71,6	75,4	74,4	76,4	76,4
Cendres...........	10,4	6,4	6,4	6,6	5,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Peu boursouflé	Non boursouflé	Peu boursouflé	Compacte	Non boursouflé
	(11) Mine Garella Devoir.	(12) Mouliné. Brochin.	(13) Mine Brochin. St-Étienne.	(14) Brochin. St-Étienne.	(15) Mine Brochin. Grande inconnue.
Matières volatiles...	17,0	21.6	20,0	21,0	21,8
Carbone fixe.......	76,4	73,6	67,8	68,0	68,0
Cendres...........	6,6	4,8	12,2	11,0	20,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Peu boursouflé	Peu aggloméré	Compacte	Compacte	Peu aggloméré

(6 à 15) M. Callon. — Juillet 1853.

Canton de Roujan (16 à 20), commune de Neffiès (21 à 24).

	HOUILLES.				
	(16) Napoléon.	(17) Caylus.	(18)	(19)	(20)
Matières volatiles...	25,4	21,2	17;0	19,3	16,0
Carbone fixe.......	69,2	69,2	73.0	59,4	67,6
Cendres...........	5,4	9,6	10,0	21,3	16,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke.............	Boursouflé	Boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé

(18 à 20) M. Lévy. — Juin 1867 — Mars 1870.

ARRONDISSEMENT DE LENS. (*Suite*).

Canton de Lens, commune de Liévin.

	HOUILLES.					
	(138)	(139)	(140)	(141)	(142)	(143)
Matières volatiles.	34,0	34,0	33,2	34,0	38,0	27,3
Carbone fixe.....	63,0	61.4	63,8	60,4	60,7	61,0
Cendres.........	3,0	4,6	3,0	5,6	1,3	1,7
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(138 à 141) M. Forest. — Mars 1860.
(142-143) M. Daubrée. — Novembre 1864.

ARRONDISSEMENT DE SAINT-OMER.

Canton de Fauquembergues, commune d'Enquien, Fléchinelle.

	HOUILLES.					
	(144) Gabrielle.	(145) Angelique.	(146) Angélique.	(147) Élisabeth.	(148) Marquise.	(149) Marquise.
Matières volatiles.	33,4	40,0	32,4	30,0	31,2	29,6
Carbone fixe.....	65,2	57,6	64,4	62,4	66,6	64,2
Cendres.........	1,4	2,4	3,2	7,6	2,2	6,2
	100,0	100,0	100,0	100.0	100.0	100,0
Coke...........	Boursouflé	Très boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Assez boursouflé

(144 à 148) M. Coince. — Juin 1867.
(147) M. Cornut. — Août 1878.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME.

ARRONDISSEMENT D'ISSOIRE. — BASSIN DE BRASSAC.

Canton de Jumeaux, commune de Celle et Combelle.

	HOUILLES.					
	(1)	(2)	(3)	(4) Lavé.	(5) Lavé.	(6) Gras.
Matières volatiles.	9,0	15.6	13,0	24,5	25,0	26,2
Carbone fixe.....	79,0	79,4	80,0	70,8	68,5	70,3
Cendres.........	12,0	5,0	7,0	4,7	6,5	3,5
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Pulvérul.	Pulvérul.	Pulvérul.	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé

	NON LAVÉ.			LAVÉ.		
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Matières volatiles.	18.0	24,6	42,8	24,0	23,4	24,0
Carbone fixe....	66,6	63,0	48,4	66.0	66,5	67,0
Cendres........	15,4	12,4	8,8	10,0	10,1	9,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(1 à 3) M. Bureau. — Juillet 1847.
(4 à 6) M. Landry. — Août 1852.
(7 à 12) M. Lebleu. — Mars 1860.

ARRONDISSEMENT DE SAINT-PONS.

Canton de Saint-Chinian, commune d'Azel (31 à 35).

	LIGNITES.				
	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)
Matières volatiles...	44,1	51,0	54,8	48,4	[illegible]
Carbone fixe.......	19,3	43,5	39,4	35,4	[illegible]
Cendres...........	36,6	5,5	5,8	16,2	[illegible]
	100,0	100,0	100,0	100,0	[illegible]
Pas de coke.					

(30) M. Gaidan. — Juillet 1856.
(31-34) M. J. De Bonne. — Août 1874.
(32-33) M. Montels. — Avril 1863.

DÉPARTEMENT DU JURA.

ARRONDISSEMENT DE POLIGNY.

Canton de Poligny, commune de Grozon.

	HOUILLE.
Matières volatiles...............	31,6
Carbone fixe..................	52,4
Cendres siliceuses...............	16,0
	100,0
Pas de coke	
Pouvoir calorifique.............	65,7

M. Petitgand. — Juin 1856.

DÉPARTEMENT DES LANDES.

ARRONDISSEMENT DE DAX.

Canton de Peyrehorade, commune de Saint-Lon et Siert.

	LIGNITES.					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Matières volatiles...	49,0	49,0	45,6	58,0	42,3	[illegible]
Carbone fixe.......	49,0	33,5	43,8	40,7	43,7	[illegible]
Cendres...........	2,0	17,5	10,6	1,3	14,0	25,4
	200,0	100,0	100,0	100,0	100,0	[illegible]
Pas de coke.						

(1.2) M Robin. — Mars 1862.
(3) M. Destroyat. — Août 1861.
(4.5) M. Demanet — Août 1869.
(6) M. Dusseux. — Février 1873.

DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

ARRONDISSEMENT D'ARRAS.

anton de Vimy, commune de Drocourt (1).

ARRONDISSEMENT DE BOULOGNE.

anton de Boulogne (2).
anton de Guines, commune d'Hardinghem (3).
anton de Marquise, commune de Réty (4 à 6).

	HOUILLE.	LIGNITE.	HOUILLES.			
	(1)	(2)	(3)	(4) Maréchal.	(5) Veine à querelle.	(6) Bouriat.
Matières volatiles.	30,0	64,4	35,0	36,6	35,4	38,6
Carbone fixe.....	59,8	29,2	55,6	59,0	61,8	57,8
Cendres.........	10,2	6,4	9,4	4,4	2,8	3,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke............	Non boursouflé	Pulvérulent	Non boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé

(1) M. Duporcq. — Décembre 1876.
(2) M. Duchochois. — Février 1873.
(3) M. Cornut. — Février 1877.
(4 à 6) Compagnie de Réty. — Juillet 1876.

ARRONDISSEMENT DE BÉTHUNE.

Canton de Béthune (7 à 11). { commune d'Annezin (12-13).
commune de Vendes (14-15).

	HOUILLES.				
	(7) Fosse 1 St-Jean.	(8) Fosse 3 Henri.	(9) Fosse 3 Madeleine.	(10) Fosse 3 Rachel.	(11) Fosse 4 St-François.
Matières volatiles...	33,0	31,2	29,8	14,2	13,6
Carbone fixe.......	58,6	66,8	68,0	83,6	84,0
Cendres...........	8,4	2,0	2,2	2,2	2,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Assez boursouflé	Assez boursouflé	Assez boursouflé	Peu aggloméré	Peu aggloméré

	(12)	(13)	(14)	(15)
Matières volatiles...	13,4	12,6	11,0	11,2
Carbone fixe.......	75,8	82,9	79,8	76,4
Cendres...........	10,8	4,5	9,2	12,4
	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.				

(7 à 11) M. Du Souich. — Décembre 1873.
(12) M. Gruner. — Juillet 1865.
(13) M. Degouve-Denuncques. — Juin 1860.
(14-15) M. Cornut. — Juin 1877.

ARRONDISSEMENT D'ANCENIS.

	HOUILLES ANTHRACITEUSES.				
	(9) Transonnière n° 1.	(10) Rouxère (gros).	(11) Gantellerie (tout venant)	(12) Gantellerie (criblé).	(13) Gantellerie (criblé).
Matières volatiles...	11,2	12,6	11,4	11,6	11,0
Carbone fixe.......	75,0	82,0	73,8	73,2	73,8
Cendres...........	13,8	5,4	14,8	15,2	15,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					

Compagnie de Montrelais. — Août 1878.

La Guérinière (14 à 21).

	HOUILLES.			
	(14) Veine N.	(15) Veine du milieu.	(16) Veine 5.	(17)
Matières volatiles..	28,0	30,0	31,2	31,0
Carbone fixe......	62,1	62,7	60,1	61,0
Cendres..........	9,9	7,3	8,7	8,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke.............	Très-boursouflé	Très-boursouflé	Très-boursouflé	Très-boursouflé
Pouvoir calorifique..	78,8	81,8	78,3	79,0

M. Marais. — Octobre 1860.

	HOUILLES.			
	(18)	(19)	(20)	(21)
Matière volatiles...	24,8	25,6	23,4	28,7
Carbone fixe......	53,0	54,6	51,4	63,0
Cendres..........	22,2	19,8	25,2	8,3
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke	Très-boursouflé	Très-boursouflé	Très-boursouflé	Très-boursouflé
Pouvoir calorifique.	69,8	72,5	67,0	82,6

(18 à 21) M. Francès — Février 1861.

(22) M, Guilbert. — Septembre 1866.

ARRONDISSEMENT DE CHATEAUBRIAND.

Canton et commune de Nort, — Languin.

	HOUILLES ANTHRACITEUSES.	
	(22)	(23)
Matières volatiles	17,8	18,6
Carbone fixe	72,1	69,8
Cendres	10,6	11,6
	100,0	100,0
Pas de coke.		
Pouvoir calorifique	80,0	70,5

M. Juncker. — Mai 1860.

DÉPARTEMENT DU LOT.

ARRONDISSEMENT DE GOURDON.

Canton de Gramat, commune de Miers.

	LIGNITE BITUMINEUX
	(1)
Matières volatiles	76,0
Carbone fixe	17,0
Cendres	7,0
	100,0
Pouvoir calorifique	48,2

M. de Lépinay. — Mai 1857.

ARRONDISSEMENT DE FIGEAC.

Canton de Figeac, commune de Saint-Perdoux.

	HOUILLES.					
	(2) Doucet bas (Château).	(3) Doucet haut (Martinval)	(4) Brethonnel bas (Laboureur.)	(5) Brethonnel haut (Les Rois)	(6)	(7)
Matières volatiles	36,0	36,6	37,3	35,0	38,0	38,2
Carbone fixe	56,6	57,7	52,7	61,0	56,0	56,0
Cendres	7,4	5,7	10,0	4,0	6,0	5,8
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke très-boursouflé.						

(2 à 5 Compagnie des mines du Lot. — Avril 1869.
(6.7) M. Fieux. — Juin 1874.

DÉPARTEMENT DE MAINE-ET-LOIRE.

ARRONDISSEMENT D'ANGERS.

Mine du Désert.

	HOUILLES ANTHRACITEUSES.			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Matières volatiles..	13,8	12,8	14,8	14,0
Carbone fixe......	75,3	76,5	69,2	73,2
Cendres..........	10,9	10,7	16,5	12,8
	100.0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.				

M. Las Cases. — Mai 1866.

DÉPARTEMENT DE LA MARNE.

ARRONDISSEMENT DE REIMS.

	LIGNITES.	
	(1)	(2)
Matières volatiles................	53,0	55,0
Carbone fixe....................	26,6	28,0
Cendres.........................	20,4	17,0
	100,0	100,0
Pas de coke.		

M Sassary. — Août 1856.

DÉPARTEMENT DU MORBIHAN.

ARRONDISSEMENT DE PONTIVY.

Korn-er-Houet.

	ANTHRACITE.
Matières volatiles..............	12,5
Carbone fixe....................	77,5
Cendres argileuses..............	10,0
	100,0
Pas de coke.	
Pouvoir calorifique.............	83,8

Mme la Psse Bacciochi. — Mars 1867.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS (*suite*).

	HOUILLES.				
	(37) Abilon. 3e Couche. 5. planche inférieure.	(38) Abilon. 3e Couche. 6. planchette	(39) Abilon. 3e Couche. Haute planche.	(40) Abilon. 3e Couche. Fournier (batarde).	(41) Abilon. 3e Couche Fournier (sole).
Matières volatiles,...	21,8	23,6	23,4	19,0	19,0
Carbone fine........	68,8	67,8	69,6	77,2	77,4
Cendres	9,4	8,6	7,0	3,8	3,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé
	(42) Abilon. 3e C. Fournier (sous-cave).	(43) Abilon. 3e C. Fournier (rase).	(44) Abilon. 3e C. Fournier (planche inférieure)	(45) Abilon. 3e C. Fournier. (planchette).	(46) Abilon. 3e C. Fournier (haute planche).
Matières volatiles...	21,6	22,4	20,6	19,8	20,4
Carbone fixe........	68,1	70,2	74,2	75,0	75,2
Cendres	10,3	7,4	5,2	5,2	4,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke	Boursouflé	Boursouflé	Boursouflé	Compacte	Boursouflé
	(47) 11e Couche. La Cantelate	(47) 12e Couche. Levy-Louis	(49) 13e Couche. Barraque.	(50) 14e Couche. La Minelte.	(51) 15e Couche. Les Portraits. B. inférieur.
Matières volatiles....	20,3	20,0	23,0	21,2	21,6
Carbone fixe........	73,4	77,2	67,0	74,6	71,0
Cendres	6,3	2,8	10,0	4,2	7,4
	100,0	100,0	100,0	100,00	100,0
Coke.	Boursouflé	Compacte	Compacte	Peu boursouflé	Boursouflé

(37 à 46). M. Callon. — Octobre 1852.. — (47 à 51). Janvier 1855.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS (*suite*).

	HOUILLES.				
	(52) Les portraits Banc supr 15e Couche	(53) Le plomb. 16e Couche.	(54) Le Bouquet. 17e Couche.	(55) Ste-Barbe. 18e Couche.	(56) C. Du Fesser du Champelauson.
Matières volatiles...	22,6	23,8	22,8	23,0	27,4
Carbone fixe.......	68.0	66,0	73,2	69,8	53,4
Cendres..........	9,4	10,2	4,0	7,2	19,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100.0
Coke.............	Boursouflé	Boursouflé	Compacte	Très-boursouflé	Friable

M. Callon. — Janvier 1855.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS.

Canton d'Alais, commune de Cendras. { Malataverne (57). Comberedonde (58-61).

	ANTHRACITES.				
	(57) Puits Recussot.	(58)	(59)	(60)	(61)
		Couche Champelauzon.			
Matières volatiles...	15 0	13,0	10,0	10 0	10,0
Carbone fixe.......	80,1	80,0	80.0	81,0	79,0
Cendres silic. et ferr.	4,9	7,0	10,0	9,0	11.0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					
Pouvoir calorifique..	87,3	87,9	86,6	86,0	85,0

(57). M. Deleye. — Juillet 1860.
(58 à 61). M. Crespon. — Mars 1858.

ARRONDISSEMENT DU VIGAN.

Canton et commune de Sumène (62).
Canton de Trèves, commune de Lanuejols (63-64).

	HOUILLES.		
	(62)	(63)	(64)
Matières volatiles..............	20,0	41,2	41,0
Carbone fixe..................	72,0	43,2	50,6
Cendres......................	8,0	5,6	8.4
	100,0	100,0	100.0
Coke.........................	Compacte	Non boursouf.	Non boursouf.

(62). M. Faulquier. — Janvier 1879.
(63-64). M. Joly. — Mai 1860, mai 1874.

ARRONDISSEMENT D'UZÈS.

Canton d'Uzès, commune de Serviers-et-la-Baume (65-66).
Canton de Roquemaure, commune de Laudun (67-68).

	HOUILLES.		LIGNITES.	
	(65)	(66)	(67)	(68)
Matières volatiles..	38,0	37,6	48,0	51,8
Carbone fixe......	51,9	49,4	32,4	37,6
Cendres siliceuses..	10,1	13,0	19,6	10,6
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke	Bien aggloméré	Bien aggloméré	Pulvérulent	Pulvérulent

(64-66). M. Joly. — Juillet 1870.
(67-66). M. Fuchs. — Janvier 1871.

DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS.

Bassin de Graissessac.

Canton de Saint-Gervais, { commune de Castanet (1).
commune de St-Geniez de Varonsal (2).
commune de Saint-Gervais (3 à 5).

	ANTHRACITES.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles...	11,0	10,0	9,5	9,7	13,0
Carbone fixe.......	86,6	79,0	82,0	85,3	84,0
Cendres...........	2,4	11,0	8,5	5,0	3,0
	100.0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					

(1). M. Pérusse. — Octobre 1873.
(2). Société de Saint-Geniez. — Avril 1856.
(3 à 4). M. Traxler. — Août 1846.

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS. (*Suite*).

Canton de Bédarieux. { Commune de Camplong (6 à 11). Commune de Boussague (12 à 15).

	HOUILLES.				
	(6) Mine Garella la Dame.	(7) Mine Garella Grand peu de Brochin.	(8) Mine Garella Grand peu du Devoir.	(9) Mine Garella Passet du Devoir.	(10 Mine Garel[illegible] Brochin.
Matières volatiles...	18,0	18,2	19,2	17,0	18,2
Carbone fixe.......	71,6	75,4	74,4	76,4	76,4
Cendres...........	10,4	6,4	6,4	6,6	5,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Peu boursouflé	Non boursouflé	Peu boursouflé	Compacte	Non boursoufl[illegible]
	(11) Mine Garella Devoir.	(12) Mouliné. Brochin.	(13) Mine Brochin. St-Étienne.	(14) Brochin. St-Étienne.	(15) Mine Brochin. Grande inconnue.
Matières volatiles...	17,0	21.6	20,0	21,0	21.8
Carbone fixe.......	76,4	73,6	67,8	68,0	68,0
Cendres...........	6,6	4,8	12,2	11,0	20,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke..............	Peu boursouflé	Peu aggloméré	Compacte	Compacte	Peu aggloméré

(6 à 15) M. Callon. — Juillet 1858.

Canton de Roujan (16 à 20), commune de Neffiès (21 à 24).

	HOUILLES.				
	(16) Napoléon.	(17) Caylus.	(18)	(19)	(20)
Matières volatiles...	25,4	21,2	17;0	19,3	16,0
Carbone fixe.......	69,2	69,2	73.0	59,4	67.6
Cendres...........	5,4	9,6	10,0	21,3	16,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100.0
Coke	Boursouflé	Boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé

(18 à 20) M. Lévy. — Juin 1867 — Mars 1870.

ARRONDISSEMENT DE LILLE.

Canton de Seclin, commune d'Annœullin (52 à 57), — Don (58).

	HOUILLES.					
	Mal en Maison.				[illegible]	Don.
	(53) Sondage.	(54) 2e Couche.	(55) 2 Couche.	(56) 3e Couche.	(57)	(58)
Matières volatiles...	15,7	11,6	16,0	10,3	29,0	14,5
Carbone fixe.......	65,3	86,5	68,0	79,4	67,8	76,3
Cendres...........	19,0	1,9	16,0	10,3	2,7	9,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke non boursouflé.						

M. Delanoüe. — Mars, avril, juin, novembre 1862.

ARRONDISSEMENT DE LILLE.

Canton de Pont-à-Marcq, commune d'Ostricourt (59 à 64).
Canton de Lannoy, commune de Flers. — Escarpelle (65-66).

	ANTHRACITES.					
	(59) Veine 2	(60) Veine 3	(61) Veine 6	(62) Veine 7	(63) Veine 8	(64) Veine 9
Matières volatiles...	10,4	10,6	10,0	9,6	9,6	9,0
Carbone fixe.......	87,0	83,4	88,4	88,0	88,2	87,0
Cendres...........	2,6	6,0	1,6	2,4	2,2	4,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.						

M. Du Souich. — Novembre 1875.

	HOUILLES.	
	(65) Escarpelle.	(66) Escarpelle.
Matières volatiles..............	14,2	14,6
Carbone fixe..................	77,2	77,4
Cendres......................	8,6	8,0
	100,0	100,0
Coke très-peu aggloméré.		

M. Garaut. — Février 1877.

ARRONDISSEMENT DE VALENCIENNES.

Canton de Bouchain, commune d'Anzin.

	HOUILLES.					
	(67)	(68) St-Marck.	(69) St-Marck.	(70) Thérèse.	(71) Cie Perier.	(72) St-Léonard.
Matières volatiles.	31,0	14,2	15,4	14,0	17,0	10,4
Carbone fixe.....	62,3	78,4	78,2	79,8	74,2	85,6
Cendres	6,7	7,4	6,4	6,2	8,8	4,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Boursouflé	Peu aggloméré	Peu aggloméré	Peu aggloméré	Pas de coke.	Pas de coke.

	(73) St-Marck.	(74) St-Marck.	(75) St-Marck.	(76) St-Marck.	(77) St-Marck.	(78) St-Marck.
Matières volatiles.	13,6	12,6	13,2	12,4	15,2	15,2
Carbone fixe.....	75,9	79,2	77,6	80,4	66,4	77,8
Cendres.........	10,5	8,2	9,2	7,2	18,4	7,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke peu agglom.						

	(79) St-Léonard.	(80) Cie Perier.	(81) St-Marck	(82) St-Marck.	(83) St-Marck.
Matières volatiles.	9,6	14,8	13,8	14,0	14,4
Carbone fixe.....	72,2	78,8	80,6	80,0	79,2
Cendres	18,2	6,4	5,6	6,0	6,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke peu agglom.					

(67), M. Regnault. — Février 1855.
(68 à 72). M. Cornut. — Février 1877.
(73 à 83). M. Cornut. — Juin 1877.

DÉPARTEMENT DE L'OISE.

ARRONDISSEMENT DE SENLIS.

Canton de Neuilly-en-Thelle, commune de Villeneuve.

	LIGNITES.		
	(1)	(2)	(3)
Matières volatiles............	51,0	31,0	71,0
Carbone fixe................	28,0	39,0	17,0
Cendres argileuses...........	21,0	30,0	12,0
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.			

M. Serin. — Février 1869.

ARRONDISSEMENT D'AUBUSSON. *(Suite).*

	HOUILLES.		
	(5)	(6)	(7)
Matières volatiles	20,0	13,8	23,6
Carbone fixe	44,0	57,2	56,0
Cendres argileuses	36,0	29,0	20,4
	100,0	100,0	100,0

M. Piérard. — Juillet 1851.

ARRONDISSEMENT DE BOUSSAC.

Canton et commune de Chambon-sur-Voueize.

	HOUILLES.		
	(8)	(9)	(10)
Matières volatiles	18,0	17,2	15,8
Carbone fixe	60,6	37,8	34.6
Cendres argileuses et siliceuses	21,4	45,0	49.6
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.			

M. Dousseau. — Septembre 1871.

DÉPARTEMENT DE LA DORDOGNE.

ARRONDISSEMENT DE SARLAT.

Canton de Carlux, commune de Simeyrols (1).

Canton de Domme { Commune de Veyrinnes (2).
Commune de la Chapelle-Péchaud (3).

	LIGNITES.		
	(1)	(2)	(3)
Matières volatiles	53,0	54,7	59,2
Carbone fixe	36,6	38.5	30,2
Cendres ferrugineuses	10,4	6,8	10,6
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.			

(1) M. de Langlade. — Août 1878.
(2) M. Delaire. — Avril 1878.
(3) M. de Laverrie de Vivant. — Juin 1878.

DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

ARRONDISSEMENT DE BÉTHUNE.

Canton de Cambrin, commune de Douvrin (16-17).
Canton de Houdain, commune de Bruay (18 à 32).

	HOUILLES.				
	[illegible] ET BONNE.				
	(16)	(17)	(18)	(19)	[illegible]
Matières volatiles.	14,4	10,4	33,0	37,6	[illegible]
Carbone fixe.....	82,8	87,8	64,6	61,1	[illegible]
Cendres.........	2,8	1,8	2,4	1,3	[illegible]
	100,0	100,0	100,0	100,0	[illegible]
Coke...........	Pulvérulent	Pulvérulent	Non boursouflé	Non boursouflé	Non [illegible]

	FOSSE N° 1.					
	(21) St-Louis.	(22) Ste-Aline.	(23) V. 4 bis. (toit).	(24) V. 4 bis. (mur).	(25) Veine 4. (toit).	[illegible]
Matières volatiles.	36,7	40,7	39,4	41,3	40,0	[illegible]
Carbone fixe.....	59,6	57,0	54,6	49,3	49,7	[illegible]
Cendres	3,7	2,3	6,0	9,4	10,3	[illegible]
Coke peu bours.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	[illegible]

	(27) 6e V.	(28) 7e V. (toit).	(29) 7e V. (mur).	(30) 8e V (toit).	(31) 8e V. (mur).	[illegible]
Matières volatiles.	39,0	36,0	38,0	42,3	36,6	[illegible]
Carbone fixe.....	58,0	62,0	58,6	55,7	58,7	[illegible]
Cendres.........	3,0	2,0	3,4	2,0	4,7	[illegible]
Coke peu bours.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	[illegible]

(16-17). M. Coince. — Juin 1867.
(18 à 20). M. Rainbaux. — Juin 1857
(21 à 32). Compagnie des mines de Bruay. — Juin 1867, septembre 1874.

DÉPARTEMENT DES ALPES-MARITIMES.

ARRONDISSEMENT DE GRASSE.

Canton de Vence, St-Raphaël (1).
Canton et commune de St-Vallier (2-3).

ARRONDISSEMENT DE NICE.

Vascagne (4.5).

	LIGNITES.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles ...	45,0	32,6	52,8	45,6	46,4
Carbone fixe	45,0	31,8	44,4	45,0	44,0
Cendres silic. et ferr.	10,0	35,6	2,8	9,4	9,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					

(1) M. Raybaud. — Mars 1858.
(2.3) M. Lacour. — Mars 1873.
(4.5) M. Bardon. — Mars 1874.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE.

ARRONDISSEMENT DE L'ARGENTIÈRE.

Canton de Thueyts, commune de Prades.

	ANTHRACITES.				
	(1) Glandette.	(2) Crouzonne.	(3) Charbonnière.	(4) Plalade.	(5) La Lange.
Matières volatiles...	10,6	10,0	7,8	5,6	9,2
Carbone fixe.......	81,8	84,6	70,6	72,4	84,0
Cendres siliceuses ..	7,6	5,4	21,6	22,0	6,8
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					
Pouvoir calorifique..	85,0	89,4	71,5	74,1	89,8
	(6) Grande veine.	(7) Bois de Vez v. inferieure	(8) Bois de Vez v. moyenne	(9) Bois de Vez v.supérieure (choix).	(10) Bois de Vez v.supérieure
Matières volatiles ...	7,2	9,2	9,2	8,2	8,0
Carbone fixe	86,4	65,8	65,4	83,8	73,0
Cendres siliceuses ..	6,4	25,0	25,4	8,0	19,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					
Pouvoir calorifique..	91,0	»	»	89,0	»

1 à 5) M. Monet. — Octobre 1856 .

ARRONDISSEMENT DE BÉTHUNE.

Canton de Houdain, commune de Marles.

HOUILLES.

FOSSE 3, AUCHEL (219 m 05).

	(49) Albiaque.	(50) Amédée.	(51) Antoinette.	(52) Dure veine.	(53) Eugénie.	(54) Henriette.
Matières volatiles.	37,8	36,6	33,4	38,2	39,6	40,4
Carbone fixe	59,0	61.0	62,6	59,8	57,4	58,4
Cendres.........	3,2	2,4	4,0	2,0	3,0	1,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Peu boursouflé	Non boursouflé	Un peu boursouflé	Un peu boursouflé	Assez boursouflé	Non boursouflé
	(55) Jeanne.	(56) Jeannette.	(57) Léonard.	(58) Louise (2 sillons).	(59) Louisette.	(60) Marguerite.
Matières volatiles.	38,2	39,0	36,4	37,0	34,6	41,2
Carbone fixe.....	58,8	59,0	60,0	60,8	64,2	56,2
Cendres	3,0	2,0	3,6	2,2	1,2	2,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke	Non boursouflé	Non boursouflé	Très boursouflé	Non boursouflé	Un peu boursouflé	Un peu boursouflé
	(61) Marie.	(62) Rosalie.	(63) Rufine-Sophie.	(64) Thérèse.	(65) Valentine.	(66) 2e puits Léonard (5).
Matières volatiles.	38,2	37,1	37,4	35,6	40.4	33,8
Carbone fixe	60,0	59,9	61,0	63,0	58,8	63,2
Cendres.........	1,8	3,0	1,6	1,4	1.8	3,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Un peu boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé	Boursouflé

M. Duporcq. — Décembre 1877.

TABLEAUX

DES

ESSAIS DE COMBUSTIBLES MINÉRAUX

FAITS AU BUREAU D'ESSAI DE L'ÉCOLE DES MINES,

Par M. Ad. CARNOT, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

NOTE PRÉLIMINAIRE.

Le Bureau d'essai de l'École des mines reçoit et analyse chaque année de 600 à 800 échantillons des substances minérales les plus variées : minerais de toutes sortes, métaux et alliages, combustibles, calcaires, chaux et ciments, eaux minérales et eaux potables, phosphates, engrais minéraux, etc. Ces analyses sont faites sur la demande des administrations ou des particuliers. Les résultats en sont inscrits sur les registres du laboratoire et communiqués aux personnes intéressées ; mais ils ne sont point publiés.

Le nombre des analyses ou essais exécutés depuis la fondation du bureau d'essai en 1845 s'élève aujourd'hui à 23.000. Il nous a semblé que la connaissance d'une partie d'entre eux pourrait avoir quelque utilité, soit pour l'industrie minière ou métallurgique, soit pour la médecine et l'hygiène, soit pour l'agriculture.

L'administration nous a autorisé, en 1878, à publier, pour être présentées à l'Exposition universelle, trois importantes séries de ces documents : 1° les analyses des *minerais de fer de la France et de l'Algérie ;* 2° les analyses des *eaux minérales et des eaux potables de la France ;* 3° les essais des *phosphates de chaux de la France* (*).

L'accueil fait à ce travail nous a montré qu'il avait eu en effet son utilité. Il nous encourage à présenter aujourd'hui une nouvelle série, relative aux *essais de combustibles minéraux.*

Nous avons réuni sous forme de tableaux les résultats des essais exécutés sur les houilles, les anthracites ou les lignites de la France, de l'Algérie et des colonies françaises. Nous avons cru de-

(*) Dunod, éditeur, 1878.

ARRONDISSEMENT DE BÉTHUNE (*Suite.*)

	HOUILLES.					
	BURE N° 4. — 217 m. 5.					
	(85) Rufine.	(86) Amélie.	(87) Désirée (toit).	(88) Désirée (mur).	(89) Henriette.	(90) Louise (toit).
Matières volatiles.	38,6	37,8	37,0	36,8	39,0	39,6
Carbone fixe.....	60,6	58,4	60,4	61,0	59,6	58,6
Cendres.........	0,8	3,8	2,6	2,2	1,4	2,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke non bours.						

	BURE 4 — (217 m. 5).		BURE 4 (266 m.)			
	(91) Marguerite (mur).	(92) Rosalie.	(93) Ste-Barbe.	(94) Cavaignac.	(95) St-Louis.	(96) Pascal.
Matières volatiles.	38,0	38,0	33,6	33,8	33,2	36,8
Carbone fixe.....	59,2	59,0	59,8	59,2	63,4	57,2
Cendres.........	2,8	3,0	6,6	7,0	3,4	6,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke.........	Assez boursouflé	Peu boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé	Assez boursouflé

M. Duporcq. — Décembre 1877

ARRONDISSEMENT DE BÉTHUNE.

Canton de Carvin-Epinoy. commune de Dourges.

	HOUILLES.					
	FOSSE HENRIETTE.					
	(97)	(98) Brillante.	(99) St-Georges.	(100) Ste-Cécile.	(101) St-Louis.	(102) Éclaireuse
Matières volatiles.	27,8	28,0	19,0	23,6	24,0	29,6
Carbone fixe.....	67.6	68,0	77,0	74,4	71,7	67,4
Cendres.........	4,6	4,0	4,0	2,0	4 3	3,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Boursouflé	Assez boursouflé	Boursouflé	Assez boursouflé	Assez boursouflé	Très boursouflé

(97). M. de Lassuchette. — Juillet 1867.
(98 à 102). M. Du Souich. — Mars 1876.

avaient été recueillis dans 51 départements différents; 37 avaient été fournis par l'Algérie et les colonies françaises; 106 étaient d'origine étrangère.

Nous avons indiqué, pour chacun d'eux, la date de l'essai, le nom de la personne qui avait fait l'envoi, enfin le lieu d'origine du combustible avec autant d'exactitude que possible. Nous n'avons pas toujours pu obtenir à cet égard toute la précision que nous aurions désirée; mais souvent aussi, et surtout pour les séries nombreuses d'échantillons provenant d'un même bassin houiller, les détails donnés dans les lettres d'envoi nous ont permis de faire connaître la couche et le puits d'où chacun avait été extrait.

Nous terminerons cette courte note par une observation relative à la disposition matérielle des tableaux. Pour éviter de les charger inutilement, on n'a inscrit qu'une seule fois certains renseignements qui se rapportaient à plusieurs échantillons : par exemple, la mention « *cendres siliceuses* », placée à l'entrée d'une ligne horizontale, s'applique à tous les échantillons de la même ligne; la mention abrégée « *pas de coke* » signifie que la calcination n'a donné, pour aucun d'eux, un résidu aggloméré, qui méritât le nom de coke.

DÉPARTEMENT DE L'AIN.

ARRONDISSEMENT DE BOURG-EN-BRESSE.

Canton et commune de Ceyzeriat (1 à 3);
Canton et commune de Coligny (4 et 5).

	LIGNITES.		HOUILLE	LIGNITES.	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles .	63,6	59,1	21,0	64,3	44.1
Carbone fixe......	24,4	26,7	52,3	20,2	19,3
Cendres siliceuses.	12,0	14,2	26,7	15,5	36,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke............	Léger	Léger	Peu aggloméré	Pulvérulent.	Pulvérulent.

(1 à 3) M. Vérard. — Décembre 1851.
(4.5) M. Gaidan. — Juilllet 1856.

DÉPARTEMENT DE L'AISNE.

ARRONDISSEMENT DE CHATEAU-THIERRY (1).

ARRONDISSEMENT DE SOISSONS.

Canton de Villers-Cotterets, Javage (2).

	LIGNITES.	
	(1)	(2)
Matières volatiles..............	52,0	48,67
Carbone fixe	30,0	27,33
Cendres ferrugineuses...........	18,0	24,00
	100,0	100,00
Pas de coke		
Pouvoir calorifique..............	44,9	42,0

(1) M. Coquerde. — Avril 1858,
(2) M. Bataille. — Juillet 1870.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER.

ARRONDISSEMENT DE MONTLUÇON.

Canton et commune de Commentry.

	HOUILLES.			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Matières volatiles..	35,0	31,2	32,8	33,0
Carbone fixe......	55,0	58,8	56,8	57,0
Cendres silic. et ferr.	10,0	10,0	10,4	10,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke peu boursouflé				
Pouvoir calorifique.	77,0	73,5	72,6	73,0

(1) M. Callon. — Juin 1851.

(2 à 4). M. Morineau. — Juin 1868.

Canton d'Hérisson, commune d'Estivareilles.

	HOUILLES.			
	(5)	(6)	(7)	(8)
Matières volatiles..	20,6	34,8	31,0	28,2
Carbone fixe......	20,9	31,2	30.0	33,8
Cendres silic. et arg.	58,5	34,0	39,0	38,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke.............	Pulvérulent	Aggloméré	Aggloméré	Aggloméré

(5 à 8). M. de Renneville. — Août 1857.

Canton de Montluçon, commune de Deneuille.

	ANTHRACITES.			
	(9)	(10)	(11)	(12)
Matières volatiles..	9,8	8,2	12,5	11,0
Carbone fixe......	77,6	83,3	75,2	71,3
Cendres siliceuses..	12,6	8,5	12,3	17,7
	100,0	100.0	100,0	100,0
Pas de coke.				
Pouvoir calorifique.	82,6	89,0	80,0	78,0

(9.10). M. Gaudin. — Décembre 1871.

(11). M. de Fourcy. — Juin 1850.

(12). M. Salomon. — Août 1862.

ARRONDISSEMENT D'ISSOIRE. (*Suite*).

	HOUILLES.				
	LAVAGE DES DÉCHETS.				
	(13)	(14)	(15)	(16) La chaux charbonnièr*	(17) La chaux.
Matières volatiles.	23,2	21,0	20,4	7,0	7,6
Carbone fixe.....	66,0	64,0	64,6	71,4	72,0
Cendres.........	10,8	15,0	15,0	21,6	20,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(13 à 15) M. Lebleu. — Mars 1860.
(16 à 18) M. Cavorré. — Septembre 1868.

Canton de Tauves, commune de Singles.

	HOUILLES.		
	(19) Guinguette.	(20) Moulin.	(21) Sans nom
Matières volatiles............	30,0	18,0	21,0
Carbone fixe...............	64,0	78 0	73,5
Cendres....................	6,0	4,0	5,5
Coke peu boursouflé.	100,0	100,0	100,0

M. Amavet. — Août 1856.

ARRONDISSEMENT DE RIOM.

Canton de Montargis-en-Combrailles, commune de St-Éloi (22 à la-Roche (26-27).

	HOUILLES.				HOUILLES
	(22)	(23)	(24)	(25)	(26) La Roche.
Matières volatiles.	37,7	33,3	34,7	38,7	18,3
Carbone fixe....	35,3	37,4	48,0	51,3	62,0
Cendres.........	27,0	29.3	17,3	10,0	19,7
	100,0	800,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Compacte	Compacte	Compacte	Compacte	Peu boursouflé

(28-29) M. Gruner. — Janvier 1865.
(30-31) M. Hazard. — Juillet 1868.
(32-33) M. Morineau. — Juin 1868.

DÉPARTEMENT DES BASSES-PYRÉNÉES.

ARRONDISSEMENT DE BAYONNE.

Canton d'Espelette, commune de Sare.

	ANTHRACITES.		
	(1)	(2)	(3)
Matières volatiles........	10,3	7,0	8,2
Carbone fixe............	73,7	79,0	55,8
Cendres................	16,0	14,0	36,0
Pas de coke	100,0	100,0	100,0

(1) Compagnie Transatlantique. — Mars 1866.
(2 à 4) M. Heurteau. — Juin 1875.

ARRONDISSEMENT DE PAU.

Canton de Thèze, commune de Navailles-Angos (5.6).
Canton de Jurançon (7).

	LIGNITES.		
	(5)	(6) Lavé.	(7)
Matières volatiles	37,2	38,4	59,0
Carbone fixe	35,4	48,3	30,0
Cendres siliceuses	27,4	13,3	11,0
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke			
Pouvoir calorifique	47,2	62,0	52,0

(5.6) M. De Gontaut-Biron. — Mars 1857.
(7) M. De Loya. — Août 1857.

DÉPARTEMENT DU HAUT-RHIN.

ARRONDISSEMENT DE COLMAR.

Canton et commune de Ste-Marie-aux-Mines.

	HOUILLE.
Matières volatiles	30,0
Carbone fixe	47,6
Cendres	22,4
	100,0
Pas de coke.	
Pouvoir calorifique	60,6

M. de Saint-Amour. — Avril 1846.

DÉPARTEMENT DU RHONE.

ARRONDISSEMENT DE VILLEFRANCHE.

Canton d'Amplepuis, commune de St-Claude (1), — Le Désert (2).

	ANTHRACITES.	
	(1)	(2)
Matières volatiles	9,4	17,0
Carbone fixe	53,4	71,0
Cendres argileuses	37,2	12,0
	100,0	1,000
Pas de coke.		

M. Vaissière. — Mars 1877.

DÉPARTEMENT DE SAONE-ET-LOIRE.

ARRONDISSEMENT D'AUTUN.

Canton et commune d'Épinac.

	HOUILLES.					
	(1) Puits Curier. Couche Réunion. 2e Etage.	(2) Puits Curier. 3e Couche. 3e Étage.	(3) Puits Ste.-Barbe. 3e Couche. 3e Étage.	(4) Puits Hagerman. 2e Couche. 3e Étage.	(5) Puits Micheneau. 1re Couche. 2e Étage.	(6) Puits Micheneau. 2e Couche. 2e Étage.
Matières volatiles.	30,9	34,7	22,9	29,3	28,2	26,7
Carbone fixe.....	59,7	58,4	62,8	62,2	56,8	69,0
Cendres.........	9,4	6,9	4,3	8,5	15,0	4,3
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Compacte	Compacte	Boursouflé	Boursouflé	Compacte	Compacte
	(7) Puits Micheneau. 3e C. 2e É.	(8) Puits Micheneau. 4e C. 2e É.	(9) Puits de la Garenne. 3e C. 3e É.	(10) Puits de la Garenne. 4e C. 3e É.	(11) Puits Micheneau. (Brut).	(12) Puits Micheneau. (Lavé)
Matières volatiles.	24,9	26,9	25,0	25,7	29,2	28,2
Carbone fixe.....	65,5	67,6	69,5	67,6	60,8	65,2
Cendres.........	9,6	5,5	5,5	6,7	10,0	6,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Compacte	Léger.	Compacte	Boursouflé	Compacte	Compacte
	(13) Puits Hagerman. (Non lavé).	(14) Puits Hagerman. (Lavé).	(15) Puits de la Garenne. (Non lavé).	(16) Puits de la Garenne. (Lavé).	(17) Puits Hagerman. (Gros).	(18) P. de la Garenne. (Menu).
Matières volatiles.	35,2	29,6	25,8	36,4	34,0	28,6
Carbone fixe.....	62,0	66,4	53,6	55,2	67,0	64,0
Cendres.........	12,8	4,0	20,6	8,4	9,0	7,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke...........	Boursouflé	Boursouflé	Compacte	Compacte	Boursouflé	Compacte

M. Ollendorff. — Décembre 1852

ARRONDISSEMET D'AUTUN.

Canton de Montcenis, commune de Blanzy.

	HOUILLES.			
	(19)	(20)	(21)	(22)
Matières volatiles..	41,7	42,3	40,0	39,8
Carbone fixe......	52,7	51,7	54,0	54,7
Cendres..........	5,6	5,0	6,0	5,5
	100,0	100,0	100.0	100,0
Coke peu boursouflé				

M. Rousseau. — Novembre 1868.

ARRONDISSEMENT DE CHALON-SUR-SAÔNE.

Canton de Buxy, Forges.

	LIGNITES.	
	(23) (Brut).	(24) (Lavé).
Matières volatiles...............	46,6	49,0
Carbone fixe....................	33,4	41,0
Cendres.........................	20,0	10,0
	100,0	100,0
Pas de coke		

M. Petitgand. — Août 1856.

ARRONDISSEMENT DE CHAROLLES.

Canton de Gueugnan, commune de Neuvy, Grandchamp (25-26).
Canton de Toulon-sur-Arroux, comm. de Perrecy-les-Forges (27 à 33)

	ANTHRACITES		LIGNITES.						
	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)
Matières volatiles	19,5	16,8	31,0	38,0	43,3	35,3	36,6	39,0	38,8
Carbone fixe....	73,7	76,2	37,0	43,0	21,7	38,7	28,8	33,0	44,2
Cendres.......	6,8	7,0	32,0	19,0	35,0	26,0	34,6	28,0	17,0
	100,0	100,0	100,0	1,0.0	100.0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.									

(25,26) M. Basile. — Octobre 1849.

(27 à 33) Cie de Perrecy-les-Forges. — Février et mai 1879.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-SAONE.

ARRONDISSEMENT DE LURE.

Canton de Champagney, commune de Ronchamp.

	HOUILLES.					
	PUITS SAINT-CHARLES.					
	(1) 1re Couche supérieure.	(2) 1re Couche moyenne.	(3) 1re Couche inférieure.	(4) 2e Couche supérieure.	(5) 2e Couche moyenne.	(6) 2e Couche [illegible]
Matières volatiles.	34,5	35,4	32,0	32,6	34,0	35,1
Carbone fixe.....	63,6	61,9	64,6	64,9	60,8	60,0
Cendres.........	1,9	2,7	3,4	2,5	5,2	4,9
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke bien agglom.						

	PUITS SAINT-CHARLES.					PUITS ST-JOSEPH.
	(7) Galerie Ste-Barbe.	(8) Montage. Grand mougin.	(9) Montage. Grand mougin.	(10) Montage du levant.	(11) 2e taille. Levant.	(12) 1re Couche [illegible]
Matières volatiles.	28,7	31,0	30,0	30,0	33,0	32,[illegible]
Carbone fixe.....	68,0	63,8	64,4	65,0	58,0	58,[illegible]
Cendres.........	3,3	5,2	5,6	5,0	9,0	9,[illegible]
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pouvoir calorifiq.	85,3	80,0	80,0	80,2	75,2	75,2

	PUITS SAINT-JOSEPH.					
	Montage du Levant.			Fonçage du Couchant.		
	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
Matières volatiles.	28,0	24,6	25,0	25,6	24,6	22,[illegible]
Carbone fixe.....	70,4	71,4	65,0	68,4	68,0	72,[illegible]
Cendres........	1,6	4,0	10,0	6,0	7,4	5,[illegible]
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,[illegible]
Pouvoir calorifiq.	82,0	79,9	80,3	80,6	80,6	84,[illegible]

(1 à 6). M. Callon. — Avril 1856.
(7 à 18). M. Dolle. — Janvier 1859.

DÉPARTEMENT DE LA SARTHE.

ARRONDISSEMENT DE LA FLÈCHE.

Canton de Mayet, commune de Sarcé (1-2), Monperthuis (3-4), Monfron (5-6).

	ANTHRACITES.					
	(1) (Gros).	(2) (Menu).	(3) (Gros).	(4) (Menu).	(5) (Gros).	(6) (Menu).
Matières volatiles.	7,0	14,4	10,0	11,0	11,0	10,0
Carbone fixe.....	77,0	68,0	83,0	71,0	81,5	60,0
Cendres.........	16,0	17,6	7,0	18,0	7,5	30,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke						
Pouvoir calorifiq.	81,0	78,7	88,0	76,5	84,0	65,0

(1-2). M. De Francy. — Août 1849.
(3 à 6). M. Francfort. — Janvier 1857.

DÉPARTEMENT DE LA SAVOIE.

ARRONDISSEMENT D'ALBERTVILLE.

Canton d'Albertville (1-2).

ARRONDISSEMENT DE MOUTIERS.

Canton et commune de Moutiers (3).

ARRONDISSEMENT DE SAINT-JEAN DE MAURIENNE.

Canton et commune de Saint-Michel (4-5).

	HOUILLES.		ANTHRACITES.		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles.........	29,6	27,0	6,0	6,0	6,7
Carbone fixe	68,2	68,6	74,4	73,3	70,0
Cendres	2,2	4,4	19,6	20,7	23,3
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke....................	Compacte	Compacte	Pulvérul.	Pulvérul.	Pulvérul.

(1). M. Missol. — Juillet 1862.
(2). M. Lamé Fleury. — Novembre 1863.
(3). M. François. — Octobre 1857.
(4-5). M. Paillette. — Juin 1857.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-SAVOIE.

ARRONDISSEMENT DE BONNEVILLE.

Canton de Cluses, commune de Tanninges (1 à 4), l'Épine (5-6).

	HOUILLES ANTHRACITEUSES.					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Matières volatiles.	10,0	12,0	13,8	15,0	15,0	15,[illegible]
Carbone fixe.....	54,6	64,0	78,2	60,6	74,6	67,[illegible]
Cendres.........	35,4	24,0	8,0	24,4	10,4	17,[illegible]
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,[illegible]
Pas de coke.						

(4-2). M. Solari. — Février 1873.
(3-4). M. Tavernier. — Novembre 1878.
(5-6). M. Borie. — Août 1860.

DÉPARTEMENT DE LA SEINE.

ARRONDISSEMENT DE SAINT-DENIS.

Canton de Courbevoie, commune de Nanterre, lieu dit les Coudes.

	LIGNITES.			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Matières volatiles........	49,4	45,2	39,0	47,6
Carbone fixe............	30,0	26,2	8,2	6,4
Cendres	20,6	28,6	52,8	46,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.				

Compagnie Parisienne des Lignites. — Novembre et Décembre 1867.

DÉPARTEMENT DE SEINE-ET-OISE.

ARRONDISSEMENT D'ÉTAMPES. — Canton d'Étampes (1).
ARRONDISSEMENT DE MANTES. — Canton de Mantes (2).
ARRONDISSEMENT DE POISSY. — Canton de Villeneuve (3).

	LIGNITES.		
	(1)	(2)	(3)
Catières volatiles...........	49,0	46,0	39,2
Marbone fixe...............	15,3	14,0	32,8
Cendres	35,7	40,0	28,0
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.			

(1) M. Lorieux. — Janvier 1852.
(2) M. Terez. — Avril 1848.
(3) M. Bellaire. — Décembre 1857.

DÉPARTEMENT DES DEUX-SÈVRES.

ARRONDISSEMENT DE NIORT.

Canton de Coulonges-sur-l'Autisse, commune de Saint-Laurs.

	HOUILLES.			
	(1) Ste-Clothilde Veine 8. S.	(2) Ste-Clothilde Veine 8. N.	(3) Ste-Clothilde Veine 8 N. (criblé).	(4) Ste-Marie Veine 4. (criblé).
Matières volatiles	21,8	22,4	20,4	22,4
Carbone fixe	73,2	73,0	67,6	71,6
Cendres	5,0	4,6	12,0	6,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Coke	Non boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé	Non boursouflé
Pouvoir calorifique	84,9	87,3	78,7	86,7

	(5) Ste-Marie. Veine 3. O. (criblé).	(6) St-Laurent. Veine 7.	(7) St-Laurent Veine 7. (criblé).
Matières volatiles	21,4	24,0	20,0
Carbone fixe	69,0	66,4	69,0
Cendres	9,6	9,6	11,0
	100,0	100,0	100,0
Coke boursouflé.			
Pouvoir calorifique	79,4	82,3	73,5

M. de Nettancourt. — Avril 1861.

DÉPARTEMENT DU VAR.

ARRONDISSEMENT DE DRAGUIGNAN.

Canton et commune de Fréjus (1 à 5).
Canton d'Aups, commune du Plan (6 à 9).

	HOUILLES.			ANTHRACITES.	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles	22,5	23,5	24,0	11,6	11,3
Carbone fixe	62,9	69,5	69,6	85,6	83,1
Cendres	14,6	7,0	6,4	2,8	5,6
	100.0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					

(1 à 3) M. Fauvage. — Décembre 1864.

(4.5) M. Reynaud. — Juin 1867.

ARRONDISSEMENT DE DRAGUIGNAN (*suite.*)

	HOUILLES.			
	COUCHE ROSALIE.			
	(6)	(7)	(8)	(9)
Matières volatiles........	38,6	44,0	38,0	47,6
Carbone fixe............	44,4	13,0	34,0	49,0
Cendres................	17,0	43.0	28,0	3,4
	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.				

M. De Lambilly. — Novembre 1867.

DÉPARTEMENT DE LA VENDÉE,

ARRONDISSEMENT DE FONTENAY.

Canton de a Chataigneraie, commune de Cézais (1)

ARRONDISSEMENT DE PONTIVY.

Canton de Roche-Servière, commune de St-Philbert de Boucane (2)

	HOUILLES.	
	(1)	(2)
Matières volatiles................	40,0	19,0
Carbone fixe....................	52,5	55,5
Cendres........................	7,5	25,5
	100,0	100,0
Coke peu aggloméré		

M, Monthiers. — Avril et octobre 1874.

DÉPARTEMENT DES VOSGES.

ARRONDISSEMENT DE MIRECOURT.

Canton de Mirecourt, commune de St-Menge (1 à 4).

ARRONDISSEMENT DE NEUFCHATEAU.

Canton de La Marche, commune de Montigny (5).

ARRONDISSEMENT DE SAINT-DIÉ.

Canton de Schirmeck, commune de Grandfontaine (6).

	HOUILLES.					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Matières volatiles...	35,0	31,0	32,2	43,6	40,0	16,0
Carbone fixe.......	52,6	41,4	38,5	47,8	53,0	38,0
Cendres..........	12,4	27,6	29,3	8,6	7,0	46,0
	100,0	100.0	100;0	100,0	100,0	100,0
Coke	Dur	Compacte	Dur.	Dur	Assez boursouflé	

(1). M. Monthiers. — avril 1857.
(2). M. Marx. — Août 1857.
(3). M. Lemet. — Février 1867.
(4). M. Hardouin. — Décembre 1872,
(5). M. Aymard-Collas. — Décembre 1877.
(6). M. Gunther, — Février 1850.

DÉPARTEMENT DE L'YONNE.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE JOIGNY.

	HOUILLES.		
	(1)	(2)	(3)
Matières volatiles	31,9	44.6	40,0
Carbone fixe	66,0	50,4	53,0
Cendres	2,1	5,0	7,0
	100,0	100,0	100,0

M. Juncker. — Juillet 1852.

DÉPARTEMENT D'ALGER.

ARRONDISSEMENT D'ALGER.

Cercle de Ténez (1).
Cercle de Tizi-Ouzou (2).

	ANTHRACITE.	LIGNITE.
	(1)	(2)
Matières volatiles	14,6	31,5
Carbone fixe	63,2	35,0
Cendres sableuses	22,2	33,5
Pas de coke.	100,0	100,0

(1) M. de Sarlande. — Mai 1866.
(2) M. Hérant. — Juin 1872.

ARRONDISSEMENT DE BLIDAH. — SUBDIVISION DE MÉDÉA.

Cercle de Cherchell, Bordj-El-Kreines (3 à 7).
Cercle de Laghonat, Djebel-Amour-Guemantar (8).

	LIGNITES.					
	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Matières volatiles	32,2	51,4	58,2	48,0	48,8	36,0
Carbone fixe	61,6	19,4	34,8	46,4	36,4	53,6
Cendres	6,2	29,2	7,0	5,6	14,8	10,4
Pas de coke.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(3) M. Moins. — Mars 1852.
(4 à 6) M. Raquet. — Janvier 1863.
(7) M. Parran. — Février 1865.
(8) M. Baudrand. — Décembre 1878.

DÉPARTEMENT DE CONSTANTINE.

ARRONDISSEMENT DE CONSTANTINE.

Le Smendou (ou Condé) (1-2).

ARRONDISSEMENT DE PHILIPPEVILLE.

Cercle de Djijelli, { Beni Sian (3 à 5).
Oued Temena, St-Ferdinand Val d'Or (6).

	LIGNITES.					
	(1)	(2)	(2)	(4)	(5)	(6)
Matières volatiles...	50,0	62,2	36,2	51,4	53,6	22,0
Carbone fixe	37.5	14,4	61,6	47,6	42,8	56,8
Cendres...........	12,5	23,4	2,2	1,0	3,6	21,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(1). Ministère de la Guerre. — Mars 1850.
(2). M. Bastide. — Juin 1856.
(3). M. Michel Chevalier. — Avril 1852.
(4). M. Brunet. — Décembre 1857.
(5). M. Janson. — Mai 1876.
(6). M. Tourdonnet. — Décembre 1876.

DÉPARTEMENT D'ORAN.

ARRONDISSEMENT D'ORAN.

	ANTHRACITE.	LIGNITES.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Matières volatiles...	8,5	42,5	46,2	47,2	52,3	55,0
Carbone fixe	54,9	9,4	25,7	38,3	29,0	23,0
Cendres...........	36,6	48,1	28,1	14,5	18,7	22,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke........						
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Matières volatiles...	49,3	47.0	47,7	51,9	50,0	52,0
Carbone fixe........	30,0	30,0	27,1	31.3	28.0	31,5
Cendres...........	20,7	23,0	25,2	16,8	22,0	16,5
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke						

(1). M. Calmels. — Novembre 1869.
(2 à 12). Ministère de la Guerre. — Décembre 1853.

ARRONDISSEMENT D'ORAN (*suite*).

	LIGNITES.					
	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
Matières volatiles...	50,0	50,0	33,7	51,4	45,2	48,6
Carbone fixe........	32,3	23,0	22,3	32,0	27,5	28,3
Cendres...........	17,7	27,0	54,0	16,6	27,3	23.1
	100,0	100,0	100,0	100.0	100 0	100,0

(13 à 18). Ministère de la Guerre. — Décembre 1853.

NOUVELLE CALÉDONIE.

	HOUILLE.		ANTHRACITE.
	(1) Rivière Maindou.	(2) Rivière Moméa.	(3)
Matières volatiles......	36,0	26,4	4,6
Carbone fixe	62,6	29,2	87,6
Cendres.............	1,4	44,4	7,8
	100,0	100,0	100,0

(1-2). M. Heurteau. — Février 1875.
(3). M. l'amiral Chopart. — Janvier 1876.

COCHINCHINE.

ILE DE PHU QUOC.

	LIGNITES.	
	(1)	(2)
Matières volatiles...............	52,0	50,8
Carbone fixe....................	47,0	48,2
Cendres.......................	1,0	1,0
	100,0	100,0

Ministère de la Marine. — Juin 1857.

ANGLETERRE.

PAYS DE GALLES.

	HOUILLE	HOUILLES ANTHRACITEUSES.				
	(1) Glamorgan.	(2) Bingvein Llanelly.	(3) Bwlfa Merthyr.	(4) Cardiff Palmer's Merthyr.	(5) Irondale pits.	[illegible]
Matières volatiles.	34,6	9,2	11,8	15,0	15,4	[illegible]
Carbone fixe	62,6	88,2	87,9	82,7	22,6	[illegible]
Cendres.........	2,8	2,6	0,3	2 3	2.0	[illegible]
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	[illegible]

(1) M. Gautreys. — Avril 1862.
(2) M. Page. — Décembre 1867.
(3) M. Jacquet. — Février 1872.
(4) M. Palmer-Morgan. — Janvier 1876.
(5 à 6) M. J. Tylor. — Juin 1879.

	ANTHRACITES.		HOUILLE	HOUILLE	HO[illegible]
	(7) Cardiff.	(8) Cardiff.	(9) Nexon-Coal.	(10) Sunderland Lambton.	[illegible]
Matières volatiles...	12,6	13,0	37,8	30,0	[illegible]
Carbone fixe.......	85,4	85,2	60,6	64,0	[illegible]
Cendres...........	2,0	1,8	1,6	6,0	[illegible]
	100 0	100,0	100,0	100,0	[illegible]

(7 à 9) Ministère de la Marine. — Mars 1877.
(10) M. Freedrichs. — Juin 1873.
(11) M. Leroux. — Juillet 1875.

AUTRICHE-HONGRIE.

	LIGNITES.			HOUILLES.	
	TYROL. Battemberg, (Vallée de l'Inn).			SILÉSIE. Brzezinska.	[illegible] de S[illegible]
	(1)	(2)	(3)	(4)	[illegible]
Matières volatiles...	51,7	50,7	52,0	22,6	[illegible]
Carbone fixe.......	41,3	38,7	40,0	67,0	[illegible]
Cendres...........	7,0	10,6	8,0	10,4	[illegible]
	100,0	100,0	100,0	100,0	[illegible]

(1 à 3) M. le baron Butler. — Janvier 1857.
(4) M. Lévy. — Juin 1877.
(5) M. Payoux. — Avril 1874.

STYRIE.

	ANTHRACITE.	LIGNITES.			HOUILLE.
	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Matières volatiles...	9,0	53,4	36.4	58,4	33,2
Carbone fixe.......	79,8	43,2	22,0	31,8	53,6
Cendres..........	11,2	3.4	41,6	9,8	13,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(6-7) M. Tocanier. — Janvier 1875.
(8 à 10) M. Barbe. — Avril 1874.

HONGRIE.

	LIGNITES.		
	(11) Jablowitz.	(12) Salgotargan.	(13) Kisterenie (Zapyra).
Matières volatiles..........	56,0	49,4	52,4
Carbone fixe..............	33,4	44,6	44,0
Cendres..................	10,6	6,0	3.6
	100,0	100,0	100,0

(11) M. Barbe. — Avril 1874.
(12) M. Payoux. — Avril 1874.
(13) M. Lonyay. — Mars 1879.

BAVIÈRE.

	LIGNITES.		
	(1) Groshall.	(2) Muller am Baum.	(3) Mumuhle.
Matières volatiles..........	56,0	49,0	54,0
Carbone fixe..............	40,4	47,0	40,0
Cendres..................	3,6	4,0	6,0
	100,0	100,0	100,0
Pouvoir calorifique..........	58,4	68,0	55,0

M. Garnier — Novembre 1848.

BELGIQUE,

	HOUILLES.					
	CENTRE.	(NAMUR)			(MONS).	
	(1) Leval-Trehaguez.	(2) Hens sur Sambre.	(3) Carabinier français.	(4) Carabinier français.	(5)	(6)
Matières volatiles.	15,0	11,2	17,8	15,0	17,9	16,[illegible]
Carbone fixe	83,0	85,3	80,4	82,8	80,5	82,[illegible]
Cendres	2,0	3,5	1,8	2,2	1,6	1,[illegible]
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,[illegible]

	GRAND BUISSON.					
	(7) Malhom.	(8) Buisson.	(9) Buisson.	(10) Bouilleau.	(11) Bouilleau.	(12) Bru[illegible]
Matières volatiles	33,8	31,4	30,0	30,0	32,4	30,0
Carbone fixe.....	63,2	65,6	68,0	68,0	64,6	47,5
Cendres	3,0	3,0	2,0	2,0	3,0	2,5
	100,0	100.0	100,0	100,0	100,0	100,[illegible]

	GRAND BUISSON.	GRAND HORNU.		GRAND HORNU.	VIARMES.	
	(13) Selanie	(14) St-Ghislain.	(15) St-Ghislain	(16) Sondage N.	(17)	(18)
Matières volatiles	29,0	15,0	15,0	32,6	35,0	35,5
Carbone fixe	66,5	72,0	80,0	64,7	63,6	60,0
Cendres	4,5	13,0	5,0	2,7	1,4	4,5
	100,0	100,0	100,0	100,0	1,000	100,0

(1). M. Rousseau. —juin 1874.
(2). M. Le Chatelier. — Février 1849.
(3.4). M. Juncker. —Juillet 1851.
(5.6). M. Regnault. — Février 1855.
(7 à 16). M. Rainbaux. — Juin 1857.
(17.18). M. Rousseau. — Septembre 1871.

BELGIQUE (*suite*).

BASSE SAMBRE.

Floriffoux.

	HOUILLES				
	(19) Grande V. (criblé).	(20) Petite V.	(21) Grande V. S.	(22) Petite V. S.	(23) V. Plantis.
Matières volatiles...	11,2	10,0	10,0	10,2	24,0
Carbone fixe.......	72,8	70,6	83,8	86,6	66,4
Cendres...........	16,0	19,4	6,2	3,2	9,6
	100,0	100,0	100.0	100,0	100,0
	(24) Bois plantis. S.	(25) Dressant. N.	(26) Moutraille S.	(27) Menu. S.	(28) Bois Skerpia.
Matières volatiles...	20,6	13,8	9,6	10.4	9,4
Carbone fixe.......	77,0	81,2	66,4	73,4	36.0
Cendres...........	2,4	5.0	24,0	16,2	54,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(19 à 28). M. Canel. — Mai 1876.

CHARLEROI.

	(29) Courcelles.	(30) Bellevue.	(31) (tout venant)	(32) Bellevue.	(33) Courcelles.
Matières volatiles...	14,7	13 0	22,2	12,4	13,0
Carbone fixe.......	82,4	85,0	64,8	85,2	77,6
Cendres...........	2,9	2,0	13,0	2,4	9,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(29-30). M. Rioult. — Décembre 1871.
(31). M. Henry. — Juin 1872.
(32-33). M. Cornut. — Février 1877.

DANEMARK.

ILES FERÖE. — ILE SUDERÖE.

	LIGNITES.		LIGNITES BITUMINEUX.		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles...	45,8	42,4	49,8	47,6	50,0
Carbone fixe.......	32,4	35,4	49,6	42.6	45 6
Cendres...........	21,8	22,2	0,6	9,8	4,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(1 à 4). M. Aguillon et M. Van der Post. — Juin 1879.
(5). M. Petiton. — Octobre 1879.

ESPAGNE.

ARAGON.

Province de Téruel. — Mine de Utrillas.

	LIGNITES.					
	(1) Cabecicos.	(2) Escucha.	(3) Fuente cubierta.	(4) Grande couche.	(5) Couche supérieure	(6) Couche à coke.
Matières volatiles...	47,6	48,2	47,6	42,0	42,0	44,0
Carbone fixe.......	48,4	48,0	48.4	50,0	41,4	47,2
Cendres...........	4,0	3,8	4,0	8,0	16.6	8.8
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100 0
Pouvoir calorifique..	65,2	65,6	65,8	66,8	55,6	62,5

M. d'Albuquerque. — Avril 1877.

Houille de la Vallée de Biai, Guadalquivir.

	(7)	(8)
Matières volatiles...............	26,3	28,0
Carbone fixe.....................	63,7	66,0
Cendres..........................	10,0	6,0
	100,0	100.0
Coke aggloméré.		

M. Duclerc. — Octobre 1856.

ITALIE

LOMBARDIE.

San Fedel, près le lac de Côme (1).

PIÉMONT.

Coni (2.3).

TOSCANE. (4 à 7)

SARDAIGNE.

Canton de Gonz, Iglesias. — (8 à 11).

	LIGNITE.	ANTHRACITES.	
	(1)	(2)	(3)
Matières volatiles	40,3	7,6	8,6
Carbone fixe	25,3	61,4	67,4
Cendres	34,4	31,0	24,0
	100,0	100,0	100,0

	LIGNITES.			
	(4)	(5)	(6)	(7)
Matières volatiles	43,8	57,8	46,0	54,5
Carbone fixe	35,6	34,6	49,8	37,0
Cendres	20,6	7,6	4,2	8,5
	100,0	100,0	100,0	100,0

	(8)	(9)	(10)	(11)
Matières volatiles	50,0	37,6	45,0	40,6
Carbone fixe	44,0	49,8	37,3	33,3
Cendres	6,0	12,6	17,7	26,1
	100,0	100,0	100,0	100,0

(1). M. Gautier. — Octobre 1855.
(2.3.7) M. Soupey. — Octobre 1875.
(4-6) M. de Verneuil. — Février 1872.
(8). Ministère des Travaux publics. — Octobre 1851.
(9) M. Vaitre. — Avril 1852.
(10.11) M. Le Chatelier. — Juillet 1854.

PRUSSE.

BOURSCHEID, PRÈS AIX-LA-CHAPELLE.

	ANTHRACITE.
Matières volatiles	13,5
Carbone fixe	83,0
Cendres	3,5
	100.0
Pas de coke.	
Pouvoir calorifique	95,8

M. Engelhardt. — Juin 1858.

ROUMANIE.

FELTICENY (1).

DÉPARTEMENT DE BACAU. — Coromanesi (2)

	LIGNITES.	
	(1)	(2)
Matières volatiles	53,7	47,4
Carbone fixe	37,3	43,0
Cendres	9,0	9,6
	100,0	100,0
Pas de coke		
Pouvoir calorifique	48,8	59,0

(1) M. Nicolesco. — Janvier 1877.
(2) M. Istrati. — Décembre 1878.

RUSSIE.

ROYAUME DE POLOGNE. — Mine de Dombrowa.

	LIGNITES.					
	LABECKI.			XAVERI.		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Matières volatiles	42,6	42,0	43,0	44,0	45,0	44,0
Carbone fixe	55,7	55,0	47,4	54,2	52,2	54,3
Cendres	1,7	3,0	9.6	1,8	2,8	1,7
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.						

M. Chaper. — Décembre 1876.

RUSSIE (*suite*).

CAUCASE.

Tkibouli (1 à 8).
Kéridilly (10).

GOUVERNEMENT DE TOULA.

District d'Epiphane (9).

	LIGNITES.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Matières volatiles...	44,4	42,0	37,4	40.0	46,4
Carbone fixe.......	33,6	45,0	38,6	46,7	46,0
Cendres...........	22,0	13 0	24,0	13,3	7,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.					
	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Matières volatiles...	41,7	45,3	44,0	37,0	50,0
Carbone fixe.......	45,0	47,1	46,4	48,3	38,4
Cendres..........	13,3	7,6	9,6	14,7	11,6
	100,0	100.0	100,0	100,0	100,0
Pas de coke					

(1). M. Fuchs. — Février 1878.
(2 à 8). M. Pernolet. — Septembre 1878.
(9). M. Basilewski. — Novembre 1878.
(10). M. Ferré. — mai 1875.

SERBIE.

ARRONDISSEMENT DE PASSAREWATZ. — Dobra (1).

ARRONDISSEMENT DE JERACLIUS (2-3).

	(1)	(2)	(3)
Matières volatiles..............	57,2	53,8	55,0
Carbone fixe..................	41,2	43,5	42,6
Cendres......................	1,6	2,7	2,4
	100,0	100,0	100,0
Pas de coke.			

M. Poujade. — Octobre 1874.

MÉMOIRE

SUR

LES SOURCES MINÉRALES DE VICHY

ET DES ENVIRONS.

GISEMENT — TRAVAUX DE CAPTAGE — RÉGIME — ORIGINE.

Par M. H. VOISIN, ingénieur des mines.

Constitution géologique de la région.

Aperçu général. — Vichy est situé sur la rive droite de l'Allier, à 260 mètres au-dessus du niveau de la mer. La vallée de cette rivière, entre le parallèle de Vichy et Brassac, est comme un vaste sillon ouvert dans les terrains anciens du plateau central de la France et partiellement comblé par les dépôts lacustres de l'époque miocène. Aux abords de Vichy, l'Allier marque la limite orientale de la plaine, qui s'étend vers l'Ouest jusqu'à Gannat, sur une largeur de 20 kilomètres. A l'Est, entre l'Allier et la Loire, s'élèvent les deux chaînons les plus septentrionaux de la chaîne du Forez : le premier, celui des Bois-Noirs, prend naissance sur les bords de l'Allier, entre Vichy et Châteldon, et s'étend suivant la direction N. 50° O.-S. 50° E. jusqu'à Champoly, passant par le sommet du Puy de Montoncelle (1.292 mèt.) et par celui du mont Saint-Thomas (1.181 mètres) ; à ce massif se rattachent les deux coteaux élevés qui longent la vallée du Sichon, depuis Saint-Priest-la-Prugne jusqu'à Cusset, et qui affectent la même direction ; l'autre chaînon, celui des montagnes de la Madeleine, part du col de Saint-Priest-la-Prugne et s'étend vers le N. 15° O., entre

les vallées de la Bèbre et de la Loire, jusqu'au Puy-Saint-Léon, situé un peu au nord du bassin houiller de Bert; les points culminants sont le sommet du bois des Crèches (1.123 mètres) et la cime du bois de l'Assise (1.165 mètres).

De l'autre côté de cette haute muraille, constituée par des roches porphyriques et granitiques et par quelques lambeaux de terrains de transition, on retrouve une formation lacustre de même nature et de même âge que celle de la vallée de l'Allier : il y a là, en face de Roanne, une petite plaine qui est comme un diminutif de la Limagne d'Auvergne.

Disposition symétrique des sources minérales sur les deux versants du Forez septentrional. — Cette symétrie pour ainsi dire boiteuse qu'affectent les dépôts, presque tous d'origine geysérienne, de l'époque tertiaire moyenne, par rapport à l'axe du Forez septentrional, les sources minérales de l'époque actuelle la présentent également : d'un côté, on trouve celles de Châteldon, Saint-Yorre, Hauterive, Brugheas, Vichy et Cusset; de l'autre, celles de Saint-Alban, Renaison et Sail-les-Châteaumorand, ces dernières renfermant les mêmes principes minéralisateurs que les précédentes, mais en moindre proportion.

On trouve, dans les deux chaînons montagneux des Bois-Noirs et de la Madeleine et dans leurs contreforts, la plupart des terrains qui entrent dans la composition de la chaîne du Forez et qui ont été étudiés par M. Gruner dans sa *Description géologique et minéralogique du département de la Loire.*

Granite. — Le granite à grains fins, composé de quartz gris, de mica noir et de feldspath blanc en petits éléments, s'observe un peu en amont de Cusset, à l'Est de la route de Lapalisse, entre les vallées du Jolan et du Mourgon (V. la carte, Pl. IX, *fig.* 1). Quand on approche du Mourgon, on voit apparaître dans cette roche de nombreux filons de pegmatite, caractérisée par la présence du mica blanc.

Le granite à gros grains, dans lequel les éléments de quartz et de feldspath ont de 10 à 15 millimètres de côté et où le feldspath devient relativement abondant, aux dépens du mica, constitue presque toute la masse du Puy de Montoncelle; sur le versant Nord de cette montagne, il affecte la structure tabulaire et donne lieu à des amoncellements d'immenses dalles formant une sorte de rempart à la limite des bois de sapins.

Le granite porphyroïde, caractérisé par ses grands cristaux d'orthose, simples ou maclés, ayant jusqu'à 8 centimètres de longueur sur 4 centimètres de largeur, constitue, sur une largeur de 20 kilomètres, les deux flancs de la vallée du Jolan, qui a son origine au Mayet-de-Montagne et aboutit à Cusset. Cette roche est fréquemment à l'état d'arène et donne un sol sablonneux, sur lequel se détachent de grands blocs non altérés, tantôt épars, tantôt accumulés, qui ressemblent à des monuments druidiques.

Terrains carbonifères et porphyres. — Comme dans le département de la Loire, les roches de la période carbonifère succèdent directement ici aux terrains anciens. Mais le terrain houiller proprement dit fait défaut; le grès à anthracite n'est représenté que par des tufs porphyriques; enfin la grauwacke, qui ailleurs comprend deux étages, l'un calcaréo-schisteux, l'autre quartzo-schisteux, paraît être réduite à son étage supérieur, du moins dans le bassin du Sichon et dans la région comprise entre cette rivière et l'Allier. Les porphyres contemporains du système carbonifère traversent et bordent sur une foule de points ces dépôts.

Le groupe calcaréo-schisteux de la grauwacke comprend des poudingues, des grès, des schistes et des calcaires.

Les poudingues se montrent sur les bords du Sichon, un peu en aval de l'Ardoisière, et aussi en amont de Ferrières, jusqu'au moulin Piard; ils contiennent surtout des galets

de quartz blanc laiteux, de lydienne et de schiste, de la grosseur d'une noisette; parfois les galets sont noyés dans une pâte argileuse grise, qui est feuilletée comme les schistes du même terrain. Sur quelques points les poudingues passent à des brèches.

Les grès argileux grisâtres ou verdâtres dominent du côté de Saint-Yorre et au Nord de Busset.

Les schistes argileux, plus ou moins fissiles, s'observent notamment sur les flancs de la vallée du Sichon, entre le domaine de Châtelux et le château du Mont-Peyroux, à Arronnes et à Ferrières. Sur le premier de ces points, ils ont le grain, la texture et l'apparence de l'ardoise; la roche se débite en feuillets très minces, mais qui sont découpés, par un clivage rhomboïdal, en fragments de moins d'un décimètre carré de surface. Dans l'espoir de rencontrer, à une certaine distance du sol, des bancs de schiste moins fissurés, on a creusé autrefois, sur les bords du Sichon, au lieu dit l'Ardoisière, un grand puits et une galerie à flanc de coteau, de 50 à 60 mètres de longueur; mais ces travaux n'ont donné aucun résultat satisfaisant.

Entre le moulin de Ribière et la maillerie du Capitan, près du contact de la masse de porphyre granitoïde des Grivats, les schistes sont massifs, durs, d'une nuance verte ou noire foncée, et sillonnés de minces veinules de quartz et de feldspath.

Au Nord de Saint-Yorre, sur le bord de la route nationale, affleurent des schistes argileux gris qui, comme ceux de Juré et de Saint-Marcel-d'Urfé (Loire), sont criblés de petits nodules noirs paraissant être des macles en germe. Les schistes rencontrés par la sonde, sous les dépôts tertiaires, à la source d'Hauterive, présentent la même particularité.

Au milieu des schistes argileux, il existe des masses lenticulaires de calcaire saccharoïde d'un blanc grisâtre, que l'on extrait comme pierre à chaux à Ferrières et sur le flanc droit de la vallée du Sichon, un peu en aval de l'Ardoi-

sière. Dans cette dernière localité, on exploite trois bancs de calcaire ayant respectivement 1^m,20 — 0^{m}50 et 2^m,10 d'épaisseur et séparés par des lits de schiste qui renferment souvent des galets de quartz; les assises sont presque verticales et ont la direction E. 4° S.

Dans toute la vallée du Sichon, la direction des schistes oscille, d'ailleurs, entre l'Est et l'Est-Sud-Est. Au contraire, dans la vallée de la Bèbre et notamment dans le voisinage des mines de cuivre de Charrier (commune de La Prugne), elle oscille entre le Nord et le Nord-Nord-Ouest.

Non loin des affleurements calcaires de l'Ardoisière, Murchison a découvert, en 1850, dans des schistes terreux et légèrement ferrugineux, des fossiles qui ont été déterminés par M. de Verneuil et qui ont permis de classer ces terrains dans le système carbonifère (*Productus fimbriatus*, Sow.; *Chonetes papilionacea*, Phill.; *Orthis crenistria*, Phill.; *Phillipsia;* deux espèces d'*Encrinites*, etc.) (*). M. Julien, professeur de géologie à la Faculté des sciences de Clermont, a annoncé, à l'une des dernières réunions annuelles de l'Association française pour l'avancement des sciences, qu'il avait recueilli sur le même point plus de cent espèces de fossiles appartenant au terrain carbonifère, et parmi lesquelles M. de Koninck (**) a déterminé notamment les suivantes : *Phillipsia globiceps*, *Nautilus sulcatus*, *Aviculopecten subfimbriatus*, *Conocardium minax*, *Euomphalus helicoïdes*, *E. acutus*, *Spirifer lineatus*, *S. glaber*, *S. crassus*, *S. octoplicatus*, *Productus giganteus*, *P. cora*, *P. semireticulatus*, *P. scabriculus*, *Chonetes papilionacea* : c'est la faune du calcaire carbonifère de Visé et de Bleiberg.

Le porphyre granitoïde feldspathique, très pauvre en quartz et dans lequel le mica est remplacé par de petites mouchetures d'une substance stéatiteuse, tendre, d'un vert

(*) Murchison : « On the slaty rocks of the Sichon » (*Quarterly Journal of the Geological Society of London*, février 1851, t. VII).
(*) *Société géologique de Belgique*, Mém. I, 2.

très pâle, forme les escarpements qui bordent la route de Cusset à l'Ardoisière, un peu au Nord-Ouest des Grivats. Il est exploité pour moellons dans les carrières de la Grelette. On y trouve fréquemment des veinules de pyrite plus ou moins oxydée et de mispickel; les joints de la roche, qui affectent surtout la direction Est-Ouest, sont souvent tapissés de lamelles de barytine. Le porphyre granitoïde s'observe également du côté de Busset.

Les tufs porphyriques, de couleur foncée, noire ou verte, se rencontrent à la limite des masses éruptives et des schistes carbonifères. Dans la carrière de la Barbate, située entre Cusset et les Grivats, ils passent au porphyre noir.

Les porphyres quartzifères de l'époque houillère traversent en nombreux filons les terrains plus anciens; ils constituent, d'ailleurs, presque à eux seuls, les montagnes de la Madeleine. Ils ont généralement une pâte rouge, compacte, dans laquelle se dessinent des cristaux de feldspath très nets d'une nuance plus claire, de petits grains bipyramidés de quartz et de rares paillettes de mica; fréquemment ils contiennent aussi de petits nodules d'une substance jaunâtre ou verdâtre, tendre, ayant l'éclat de la cire jaune et qui, d'après M. Gruner (*), est de la pinite amorphe, plus ou moins altérée, c'est-à-dire un silicate très riche en alumine. Ceux des environs de Cusset ont été étudiés au microscope par M. Michel-Lévy (**) et classés par lui dans la série des *porphyres chloritiques à grands cristaux* de la période houillère.

Terrains miocènes lacustres. — Les terrains tertiaires moyens (formation lacustre de la Limagne) constituent le sous-sol de la plaine qui s'étend sur la rive gauche de l'Allier jusqu'à Gannat. En outre, à partir de Saint-Yorre, on

(*) *Description géologique et minéralogique du département de la Loire*, 1857, p. 306.

(**) *Structure microscopique des roches anciennes* (*Bulletin de la Société géologique de France*, 3ᵉ série, t. III, p. 212).

les voit paraître sur la rive droite et y former les hautes collines de Saint-Amand (436 mètres d'altitude), Beaudechet (452 mètres), la Montagne-Verte (396 mètres), les Bussonnets (412 et 419 mètres), etc.

Dans cette région à relief accidenté, à part quelques dérangements locaux, les assises lacustres présentent en général une pente de 5 à 10° vers l'Ouest-Nord-Ouest : elles ont été relevées autour d'une ligne de direction Nord-Nord-Est (parallèle à celle du système des Alpes occidentales) et portées ainsi à des hauteurs insolites.

Elles s'appuient soit sur le terrain carbonifère, comme à Saint-Yorre, Chossin, Beaudechet, soit sur le porphyre, comme à Barentan et à Cusset, soit enfin sur le granite à grains fins, comme on l'observe le long de la route de Cusset à Saint-Gérand-le-Puy.

A Vichy, comme dans le reste de la Limagne, cette formation se compose principalement de marnes verdâtres ou blanchâtres et de calcaires plus ou moins concrétionnés. Les coquilles de *Cypris faba* sont répandues à profusion dans les marnes feuilletées qui forment le sous-sol de la ville de Vichy; d'après les observations de M. Guillier (*), celles-ci renferment également de nombreux débris végétaux, surtout des tiges et des fruits; les ossements d'oiseaux et de mammifères abondent dans les carrières de pierre à chaux et de pierre de construction du Vernet, ainsi que l'*Helix Ramondi*, avec des lymnées et quelques planorbes peu déterminables; les tubes de phryganes (*Indusia tubulata*), tapissés d'innombrables coquilles de paludines, constituent en grande partie les boules et les bancs irréguliers de calcaire qui couronnent les hautes collines dénommées ci-dessus.

Caractères geysériens des dépôts lacustres aux environs de

(*) Extraits de géologie pour les années 1876 et 1877, par MM. Delesse et de Lapparent (*Annales des mines*, 1878, 7e série, t. XIII, p. 470).

Vichy. — Outre les marnes et les calcaires, on trouve encore, dans le bassin lacustre de la Limagne, des dépôts arénacés présentant des caractères spéciaux. Ainsi, à la base de la formation, on observe quelquefois des grès à grains anguleux de quartz et de feldspath et à ciment de silice, de jaspe ou de calcaire, et des argiles fortement colorées en rouge lie de vin ou en vert; à tous les niveaux, on rencontre des sables fins de quartz blanc ou rosé, dont les grains sont souvent enduits de calcaire; parfois aussi, ces oolithes à noyau de quartz sont agrégées par un peu de ciment calcaire. Ces roches rentrent dans la catégorie de celles que M. de Chancourtois a appelées *diamorphiques;* elles doivent leur origine, non aux agents sédimentaires, au mouvement des eaux superficielles, au transport horizontal, mais à des phénomènes geysériens, aux eaux souterraines ascensionnelles, qui agissent chimiquement et mécaniquement sur les roches et apportent au jour, en suspension ou en dissolution, divers éléments qu'elles déposent autour de leurs points d'émission. Les arkoses, certains grès, les kaolins, beaucoup d'argiles, les minerais de fer pisolithiques, etc., appartiennent à cette catégorie.

Des roches de cette nature existent particulièrement aux environs de Vichy.

Les grès que l'on exploite comme pierre de taille à la carrière de Fontsalive, près d'Hauterive, et qui appartiennent à la formation lacustre (quelques hélices qu'ils renferment, des empreintes de feuilles, que l'on trouve dans les veines de marne intercalées, en donnent la preuve), sont de véritables roches oolithiques, dont les oolithes ainsi que le ciment sont formés par de la silice.

La haute colline boisée de Beaudechet est constituée dans sa partie supérieure par des grès analogues et par des arkoses, dont les puissantes assises, tranchées à pic, affleurent sur 50 à 60 mètres de hauteur, dans l'escar-

pement qui domine le Sichon, en face de la maillerie du Capitan. Ces roches se composent de grains anguleux ou peu arrondis de quartz blanc ou gris, de lydienne et de feldspath généralement kaolinisé, cimentés par de la silice ou du calcaire plus ou moins mélangés d'argile. Elles alternent avec quelques lits d'argile ou de calcaire marneux. Fournissant des matériaux durs et non gélifs, elles sont activement exploitées, soit pour pavé, soit comme pierre de construction, dans de nombreuses carrières étagées sur le flanc gauche de la vallée du Sichon.

Les arkoses s'observent encore un peu au Sud du hameau des Godets, près du chemin qui descend du Vernet aux Grivats, mais avec une épaisseur déjà très réduite : ils sont représentés par de petits bancs de grès quartzeux, très aquifères, ayant ensemble 4 mètres d'épaisseur. Au-dessous, on voit une couche de $0^m,30$ de poudingue incohérent, à galets de porphyre, de granite et de silex noir, puis une veine d'argile verte ($0^m,20$), puis une nouvelle assise ($0^m,30$) de poudingue à très gros blocs et enfin des schistes verdâtres appartenant au terrain carbonifère.

Au Nord de Cusset on ne trouve plus trace d'arkose : en remontant le ravin de Chassignol, on voit les marnes reposer immédiatement sur les porphyres. De même, à 3 kilomètres au Sud de Beaudechet, près du hameau des Faits, on ne voit, en superposition sur les schistes noirs, que des sables, dont les grains sont parfois enduits de calcaire, puis des marnes et enfin des calcaires blancs.

Aux environs de Vichy, les calcaires lacustres présentent eux-mêmes certains caractères exceptionnels. Au lieu d'être uniformément blancs, comme dans la plus grande partie du bassin, ils sont fréquemment colorés en roux par l'oxyde de fer : ce fait s'observe dans les nombreuses carrières de pierre à chaux du Vernet. En outre, ils sont souvent oolithiques et même pisolithiques : dans une carrière située à 400 mètres au Nord du Vernet, nous avons remarqué une

assise formée de pisolithes calcaires empâtées dans de l'argile verte. Parfois ils renferment des concrétions de silex résinite ou ménilite.

Enfin les marnes sont fréquemment bitumineuses : on observe le long de l'Allier, entre Vichy et Abrest, et dans un puits creusé par M. Dubois à Vichy, des marnes feuilletées qui sont notablement imprégnées de bitume : souvent aussi les marnes renferment de la pyrite : on a extrait du trou de sonde d'où jaillit la source minérale d'Hauterive des plaquettes de pyrite intercalées entre les feuillets de la marne. Ajoutons enfin que M. Bouquet a trouvé, dans des marnes extraites du puits foré Élisabeth (à Cusset), entre autres éléments remarquables, de la potasse soluble dans l'eau (*).

(*) *Analyse de trois échantillons de marne ou d'argile extraits du puits Élisabeth*, par M. Bouquet (*Histoire chimique des eaux de Vichy*, p. 236):

A. — Marne grise, plastique, très calcaire, contenant peu de sable quartzeux, faisant effervescence par les acides, noircissant par la calcination ; — extraite de la profondeur de 31m,54.

B. — Marne blanche, contenant peu de sable quartzeux, faisant effervescence, se colorant à peine par la calcination ; — extraite de la profondeur de 50 mètres.

C. — Marne grise, plastique, calcaire, contenant peu de sable quartzeux, se colorant fortement par la calcination ; — extraite de la profondeur de 84m,25 (toit de la nappe d'eau minérale).

	A	B	C
	p. 100.	p. 100.	p. 100.
Sable et argile	23,54	20,00	54,00
Alumine	»	6,40	»
Sesquioxyde de fer	1,30	traces	2,40
Carbonate de chaux	62,07	66,78	27,19
Id. de magnésie	1,69	1,65	1,89
Potasse	0,38	0,24	0,56
Soude	0,48	0,46	0,66
Eau et matière organique	9,22	4,15	9,95

gr.					gr.	
100	de la marne	A,	traités par l'eau bouillante,	ont cédé	0,080	de potasse
100	id.	B,	id.	id.	0,026	id.
100	id.	C,	id.	id.	0,102	id.
100	d'un sable mélangé d'argile	D,	id.	id.	0,009	id.

Le sable D, quartzeux, feldspathique et mélangé d'argile verte,

De tous ces faits il résulte que les environs de Vichy ont été, à l'époque miocène, le théâtre de phénomènes geysériens très importants.

Basaltes. — La fin de la période miocène a été marquée par l'apparition des roches volcaniques : trachytes, basaltes et laves. Les basaltes seuls sont représentés dans la région qui nous occupe (*). Ils ont fait apparition sur quatre points, savoir : 1° à la Poivrière, sur la rive gauche de l'Allier, en face de Saint-Yorre ; 2° au Mont-Peyroux, sur la rive droite du Sichon, près de l'Ardoisière ; 3° à Saulzat, sur la rive droite du Jolan, à 5 kilomètres à l'Est de Cusset ; 4° à Bagnetier, près d'Andelaroche, à 8 kilomètres à l'Est de Lapalisse. Dans ces quatre localités, la roche est formée d'une pâte grenue, noir-verdâtre, de pyroxène et de feldspath albite, contenant de petits cristaux de péridot vert-olive ou rouge-brun clair. Elle est dure et tenace ; la cassure en est quelquefois conchoïde, à bords vifs et tranchants.

Le basalte s'est épanché en nappe horizontale, à la Poivrière, sur les marnes lacustres et, au Mont-Peyroux, sur les schistes carbonifères ; sur ces deux points, il affecte d'une manière assez nette la structure prismatique. A Saulzat et à Bagnetier, il forme des filons dans le granite porphyroïde et dans le porphyre. A Bagnetier, l'on observe un cratère de soulèvement bien caractérisé : le sol, formé par le porphyre rouge, présente un cirque de 50 mètres de diamètre environ, parfaitement régulier, au milieu duquel s'élève un cône, composé aussi de porphyre, mais traversé par un filon de basalte riche en péridot. Au contact du basalte, le porphyre a été un peu altéré.

---

plastique, provenait de la profondeur de 86 mètres ; c'est la partie supérieure de la couche arénacée où gît la nappe d'eau minérale.

(*) Vichy est à 52 kilomètres au Nord-Ouest du Puy-de-Dôme et à 52 kilomètres du Puy-de-la-Nugère, le plus septentrional des volcans éteints de la chaîne des Puys.

Dépôts caillouteux des plateaux. — Les galets de basalte, qui font entièrement défaut dans les poudingues et les grès miocènes, ne sont pas rares, au contraire, dans les dépôts caillouteux de l'époque pliocène, qui masquent sur beaucoup de points la formation lacustre, notamment sur les plateaux occupés par les forêts de Montpensier (à l'altitude de 370 mètres) et de Marcenat (320 mètres) et sur quelques-uns des sommets (400 à 420 mètres) situés entre Cusset et Saint-Germain-des-Fossés. A côté des débris du basalte, on ne trouve dans ces dépôts que des galets de quartz, atteignant fréquemment la grosseur du poing, et dont la surface est rougeâtre, comme si elle eût été salie par une boue ferrugineuse.

Alluvions anciennes. — Signalons enfin les alluvions anciennes qui s'élèvent souvent jusqu'à une assez grande hauteur sur les pentes, de chaque côté du lit actuel de l'Allier. Ce sont des sables et des graviers composés de débris de toutes les roches du bassin : quartz, micaschiste, granite, porphyre, schistes et quartzites carbonifères. Ces dépôts constituent, sur une épaisseur de 6 à 8 mètres, le sol sur lequel sont bâties les villes mêmes de Vichy et de Cusset. A leur base règne une nappe d'eau douce, retenue par les marnes lacustres sous-jacentes, et où s'alimentent les puits de ces deux localités.

Circonstances particulières de gisement, travaux de captage et régime des différentes sources.

Après avoir esquissé la constitution géologique du pays où sont situées les sources qui nous occupent, nous allons examiner les circonstances particulières du gisement, du mode de captage et du régime de chacune d'elles, en mettant à profit notamment les précieuses observations recueillies par M. l'Inspecteur général des mines François,

lors des travaux qu'il a exécutés à diverses époques sur les plus importantes.

Les principales sources naturelles de Vichy paraissent avoir existé de toute antiquité. Des thermes y avaient déjà été construits à l'époque gallo-romaine : on a retrouvé au Puits-Carré des substructions, à la source Lucas une piscine, entre le Puits-Carré et l'Allier des traces d'un aqueduc datant de cette époque.

D'après l'opinion la plus répandue parmi les archéologues, Vichy serait l'*Aquæ calidæ* des itinéraires. La voie romaine de Clermont à Lyon franchissait l'Allier en ce point. On a trouvé à Vichy, depuis quarante ans, des ruines, des statuettes, des monnaies, etc., qui ont mis absolument hors de doute l'existence en cet endroit, avant le ve siècle, d'une ville gallo-romaine de quelque importance (*).

Au moyen âge, Vichy, qui prit alors son nom actuel (*Viciacum*), partagea la proscription à laquelle furent condamnés tous les établissements thermaux.

Nicolaï, en 1567, dans sa *Description du Bourbonnais* (**), ne mentionne spécialement que deux sources, qui paraissent être le Grande-Grille et le Puits-Carré :

« Au dehors (de la ville de Vichy), environ trois gects d'arc vers le septentrion est la grand'Église parrochialle, appelée le Moustier, qui est beau et ancien temple, lequel autresfois a esté monastaire, comme ainsi qu'elle se veoid par les vieilles ruines ; et en la dicte paroisse sont les baings chaulx, qui procèdent de plusieurs sources chaudes, tant

(*) A. Chazaud : *Étude sur la chronologie des sires de Bourbon* (Moulins, 1865, p. 119). — Méplain et de l'Estoille : *Rapport sur la topographie du département de l'Allier pendant les quatre premiers siècles* (*Bull. de la Soc. d'émul. de l'Allier*, 1864. t. VII, p. 79). — Bertrand : *Exploration archéologique de la rive droite de l'Allier* (même *Bulletin*, 1864, t. IX, p. 348).

(**) Ce manuscrit nous a été obligeamment communiqué par M. Chazaud, archiviste du département de l'Allier.

audict lieu que ès environs et dans la ville, comme à part cy après je traicterai d'iceulx...

« En la ville et faubourgs, comme j'ay dessus dict, se treuvent plusieurs sources et fontaines chaudes, et entre autres près le Moustier, prieuré anexe à l'abaie de Sainct-Alire de Clermont et Esglise parrochialle dudict Vichy, y a deux baings chaulx, provenant des dictes sources, dont le principal est un puict incessamment bouillonnant, faict en forme ovalle, de la profondeur de quatre pieds de roy, cinq et demi de long et quatre et demy de large. Et l'eau qui sort dudict bouillon n'est pas aussi chaude que celle de Bourbon (*), s'escoulle au-dessoubz, dans autre grand baing de forme quasy triangulaire, lequel à l'un des boutz a pareillement un bouillon chaud sortant d'un puict caché dedans la ditte cave de profondeur merveilleuse, et de là se va escouller l'eau du cousté allant vers l'Esglise; et aux dicts baings vont se baigner plusieurs personnes infirmes tant de gouttes froides que de diverses autres maladies. »

Le plus ancien ouvrage où nous trouvions des renseignements un peu précis sur les sources de Vichy est celui de Jean Banc (**), publié en 1606. Il ne mentionne que le *Puits-Carré*, la *Grande-Grille*, les sources de l'*Hôpital* et des *Célestins*. « Je n'ai jamais vu, dit-il en parlant du Puits-Carré, une si opulente source d'un seul bouillon que celle-là. Elle peut fournir elle seule autant d'eau que pourraient plusieurs autres de celles des deux Bourbons (***). Elle ne ressort que d'un puits fait en ovale, qui a de longueur 6 pieds, de largeur 5 et de profondeur 4. Bâti de bonne pierre de taille, le fond est pavé d'une seule pierre toute percée pour l'usage de la décharge de l'eau, le tout bien joint avec bon et fort ciment.

(*) Bourbon-l'Archambault.

(**) *La mémoire renouvelée des merveilles des eaux naturelles*, par Jean Banc, docteur en médecine à Moulins-en-Bourbonnais.

(***) Bourbon-Lancy et Bourbon-l'Archambault.

« Près les murailles de la ville, un peu plus à côté que le chemin venant de Moulins, il y a une source tiède fort riche (*), qui bout à fort gros bouillons, et a goût aigret, avec un déboire de bitume un peu nitreux. Il y en a encore en ce tour quelques autres de pareille nature, mais non si belles, claires et riches que celle-là, excepté une qui est auprès du Grand Bain (**).

« Au bord de la rivière d'Allier, près du couvent des Célestins, il se trouve une petite source dans le roc, sur laquelle on voit encore les vestiges des barreaux qui y ont été posés, et dans le dit roc, en lieu peu accessible, des degrés taillés pour s'y porter; toutefois sans aucun nom ni réputation avant celle que je lui fis avoir depuis une quinzaine d'années. Elle pétrifie fort apparemment, cela se voit par son cours dans le roc, au long duquel elle coule.

« Le long de la rivière d'Allier, du côté et non guère loin d'Abret, on m'a fait voir autrefois une petite fontaine d'eau minérale froide (***); je n'y trouve pas grands esprits, ni des qualités beaucoup étendues; et si elle n'est pas beaucoup copieuse en sa décharge, toutefois bien fort sujette aux inondations de la rivière.

« C'est merveille, ajoute-t-il enfin, de la quantité de telles sources minérales et médicamenteuses, qui sont en ce territoire, de toutes sortes. »

Fouet (****), qui écrivait en 1686, énumère ainsi les sources qui existaient à cette époque :

« Il y a 6 fontaines peu éloignées les unes des autres. Il y a le *Grand-Puits-Carré*, dont l'eau est fort chaude, et *la Grille*, dont l'eau est un peu moins chaude, dans la place

---

(*) Celle de l'Hôpital.

(**) La Grande-Grille.

(***) Cette source a disparu, probablement englobée dans le lit de l'Allier, qui se déplace peu à peu vers l'Est.

(****) *Nouveau système des bains et eaux minérales de Vichy*, par Claude Fouet, médecin du Roi, Paris, 1686.

des Bains. A cent pas de celle-ci (*), on trouve les *fontaines Gargniès*, dont l'eau est un peu dégourdie seulement. Le *Gros-Boulet* (**), dont l'eau est plus que tiède, est proche de la ville. L'eau de la fontaine qui est *sous les Célestins* est actuellement froide. Entre la Grille et le Puits-Carré, ajoute-t-il, est bâtie la maison du Roi, où il y a deux bains, l'un de l'eau de la Grille, l'autre de l'eau du Puits-Carré. La Grille, étant de plus facile accès, occupant moins d'espace et n'ayant qu'une source, était par conséquent plus aisée à restreindre; ce qui obligea nos prédécesseurs à faire faire un bassin à la Grille plutôt qu'au Puits-Carré, qui, ayant plusieurs sources, occupait grand espace. Mais maintenant que les PP. Capucins ont obtenu permission d'en tirer un bain, ils ont fait la dépense du bassin. »

Dans son *Traité des eaux de Vichy*, publié en 1778, Desbrest mentionne 7 sources.

« La première, la plus abondante, la plus riche par son volume, son impétuosité, sa chaleur (37° R.), est appelée le *Grand-Puits-Carré;* elle est renfermée dans le bâtiment ou la Maison du Roi. Des bouillons multipliés sortent de tous côtés du fond de son réservoir, qui a environ 6 pieds en carré.

« La deuxième, la plus abondante après la première (35° R.), est la *Grande-Grille.* Elle est située à l'extrémité orientale du bâtiment et hors de son enceinte. Elle est couverte d'un grillage et abritée sous un grand pavillon soutenu par dix colonnes de pierre.

« La *Petite-Grille* ou *Fontaine-Chomel* est adossée à la Maison du Roi, à l'aspect du Nord.

« Le *Petit-Puits-Carré* ou *Fontàine-des-Laveuses*, qui forme aujourd'hui un carré long de 14 pieds sur 5, est à 7 pieds de distance de la Petite-Grille. On lui a donné cette

(*) Sur la place des Acacias.
(**) Source de l'Hôpital.

forme pour renfermer dans la même enceinte plusieurs jets d'eau minérale tiède ou froide qui avaient crevé à la superficie de la terre, tout près de cette fontaine, et qui n'existaient pas lors du séjour de M. de Lassonne à Vichy, en 1753. C'est à cette cause qu'on doit rapporter la diminution de 7°,5 de chaleur qu'on observe aujourd'hui (*). Entre la Fontaine-Chomel et la Fontaine-des-Laveuses, on voit un bouillon considérable d'eau minérale froide, qui jaillit depuis quelque temps à la superficie de la terre, tout près de cette dernière fontaine. Ce bouillon d'eau froide n'est pas à plus de 3 pieds de la Fontaine-des-Laveuses. Celle-ci a été abandonnée; elle sert à récurer les ustensiles de cuisine.

« L'eau du *Petit-Boulet* (**) sort du fond du bassin dans lequel elle est renfermée par un bouillon assez considérable; elle est moins chaude (22°,5 R.) que celle de toutes les sources précédentes. Cette fontaine est renfermée, ainsi que les autres, dans un réservoir carré de pierre.

« Le *Gros-Boulet* (***) a la même température que la Petite-Grille (32°,5 R.). A côté de l'un des angles externes du bassin du Gros-Boulet, on voit jaillir à la superficie de la terre un bouillon d'eau qui a la même température que l'eau du Gros-Boulet. »

Desbrest ne donne aucun détail sur la source des Célestins; il n'en fait connaître que la température (17°,75 R.).

« Les eaux minérales d'Hauterive, dit-il encore, sont froides. Elles sortent de deux sources qui sont à 5 ou 6 pieds de distance l'une de l'autre; elles sont contenues dans deux réservoirs circulaires, qui ont chacun environ 2 pieds de diamètre et dont les embouchures sont à fleur de terre. L'eau de la source dont on fait le plus d'usage a

(*) De Lassonne avait trouvé 40° Réaumur et Desbrest ne trouvait plus que 32°,5 pour la température de la Petite-Grille.

(**) Source des Acacias.

(***) Source de l'Hôpital.

un bouillonnement plus sensible que celle de l'autre fontaine, qui est moins limpide qu'elle. »

Les travaux entrepris à la suite du voyage que Mesdames de France firent à Vichy, en 1785, eurent pour effet de supprimer la Fontaine-des-Laveuses, qui fut sans doute alors réunie au Grand-Puits-Carré.

En 1820, Berthier et Puvis (*) ont compté sept sources minérales, savoir : le Puits-Carré, la Grande-Grille, le Puits-Chomel, la source Lucas, celle des Acacias, l'Hôpital et les Célestins.

Boulanger (**) mentionne en 1844 une huitième source, *la source Sornin*, « qui existait autrefois dans une maison « de ce nom et qui a été retrouvée en 1836 devant l'hôtel « Guilliermen ; elle n'est, en ce moment, ajoute-t-il, aucu- « nement utilisée. » Cette source, renfermée dans un puits, se tenait à un niveau situé de $0^{m},40$ à $0^{m},50$ en contre-bas du trop-plein. Elle était située près de l'angle Sud-Est de l'établissement thermal. Elle a disparu. Ce n'était, suivant M. François, qu'une dérivation du Puits-Carré.

En 1844, les sources Lucas et des Acacias ont été réunies en une seule.

A la suite des travaux de 1853-54, la source du Puits-Chomel a été supprimée et absorbée dans le Puits-Carré.

Comme on le verra plus loin, les Célestins constituent aujourd'hui un groupe de cinq sources, dont une est abandonnée et innommée.

Il existe à Saint-Yorre plusieurs sources naturelles, dont une a été captée. Celle de Brugheas est absolument négligée.

Aux sources naturelles ou quasi-naturelles que nous ve-

(*) *Notice sur les eaux minérales et thermales de Vichy*, par MM. Berthier et Puvis, ingénieurs au corps royal des mines (*Annales des mines*, 1820, 1re série, t. V, p. 401).

(**) *Statistique géologique et minéralogique du département de l'Allier*, Moulins, 1844.

nons d'énumérer sont venus s'ajouter de nombreux forages, qui ont fait jaillir douze nouvelles sources, savoir : la *source du Parc*, la *source Lardy* et celle des *Longues-Vignes* ou *source Larbaud* à Vichy ; la *source de Vesse*, sur la rive gauche de l'Allier ; la *source d'Hauterive ;* l'une des deux *sources de Saint-Yorre ;* les *sources de Mesdames*, *Saint-Jean* ou *de l'Abattoir*, *Tracy*, *Élisabeth*, *Sainte-Marie* et *Lafayette ;* ces six dernières sur le territoire de Cusset.

Puits-Carré.

Le Puits-Carré, autrefois désigné sous le nom de Fontaine-des-Capucins, est situé presque sous le milieu de la galerie Nord de l'établissement thermal. On y accède par une galerie souterraine.

Voici le résumé des observations faites jusqu'en 1844 sur la température et le débit de cette source et de celle du Puits-Chomel, qui n'en était qu'une dérivation, aujourd'hui réunie à la source principale.

DATES des expériences.	NOMS des observateurs.	DÉBIT par 24 heures.			TEMPÉRATURE.		NIVEAU auquel l'eau était maintenue.	OBSERVATIONS.
		Puits-Carré.	Puits-Chomel.	Total.	Puits-Carré.	Puits-Chomel.		
		m. cub.	m. cub.	m. cub.	deg. cent.	deg. cent.		
10 juill. 1775.	Lassonne.	»	»	»	48,75	43,13	»	
27 août 1777.	Desbrest.	»	»	»	46.25	36,25	»	
3 juin 1820.	Berthier et Puvis.	172,000	2,500	174,500	45,00	40,00	1^m,15 au-dessus du sol (soit 0^m,69 en contre-bas du couronnement).	
1823.	Rose-Beauvais et Longchamp.	180,000	»	»	44,88	39,26	»	
Octobre et nov. 1843.	François.	»	»	179,370	43.65	37,00	0^m,62 au-dessus du sol.	
		»	»	121,900	43,65	37,00	1^m,56 id.	
Janv., févr., mars, avril et mai 1844.	François et Boulanger.	»	»	108,768	45,00	»	0^m,62 id.	(*)
		»	»	84,360	45,00	»	1^m,56 id.	

(*) La source du Parc a commencé à jaillir le 5 janvier 1844.

Plusieurs fois remaniée depuis la fin du siècle dernier, la source du Puits-Carré a été captée dans une triple enceinte de béton, en 1844, par M. François, qui décrit ainsi, dans un rapport en date du 16 avril 1856, les travaux et les observations auxquelles ils ont donné lieu.

« La source s'élevait dans une cheminée maçonnée ayant 0^{m2},86 de section. On découvrit, en travers de cette cheminée, un diaphragme horizontal de travertin, de 0^{m},40 d'épaisseur moyenne, au centre duquel la source n'avait conservé que deux bouches étroites, n'ayant ensemble que 9 centimètres carrés d'ouverture.

« Pendant l'exécution des travaux, lorsque la cavité souterraine ou lanterne du Puits-Carré fut mise à découvert, on put y pénétrer et s'assurer qu'elle était creusée par les eaux, partie dans les marnes tertiaires, partie dans les alluvions anciennes superposées. Les unes et les autres étaient irrégulièrement érodées et pénétrées soit par des dépôts de sable lacustre, apporté par la source des profondeurs de sa cheminée, soit par des croûtes de calcaire concrétionné. Cette pénétration se remarquait surtout au-dessus de la limite supérieure des marnes tertiaires. Elle y accuse d'anciennes déviations latérales de la source, qui sont d'ailleurs indiquées par de profonds ravinements de la surface des marnes vers le Sud-Est et surtout vers le Nord-Ouest. Les cavités qui en résultent sont remplies par des dépôts de sable lacustre associé à des détritus vaseux de marne et à des débris concrétionnés.

« Il est difficile de se faire une idée, sans avoir vu les lieux, des efforts qui furent faits à l'époque gallo-romaine pour arrêter la déviation de la source vers le Sud-Est, bien qu'alors le niveau d'emploi ne fût qu'à 2^{m},20 environ au-dessous du sol actuel du grand établissemment : on établit des massifs de béton considérables, formant barrage, dont l'épaisseur s'élève jusqu'à 5 et 6 mètres et qui descendent jusqu'à 7 mètres de profondeur au-dessous du sol

actuel. C'est, nous nous en sommes assuré, la déviation du Sud-Est qui donna naissance à l'ancienne source du Puits-Sornin (*). Quant au ravinement souterrain du Nord, il a toujours offert un point de moindre résistance très dangereux pour la stabilité de la source. En certains points du sous-sol de l'ancienne galerie, il est rempli par un mélange vaseux de sables et de marnes, tellement inconsistant qu'une barre de fer de 14 mètres y est descendue par son propre poids. Des travaux de consolidation y ont été pratiqués au commencement du XVIe siècle; ils consistaient en corrois de terre glaise, parfaitement établis.

« En 1781, la source s'y créa subitement une issue, se déplaça en totalité et parut dans une cave de l'hôtel Chaloin. Ce fait résulta d'une tentative de relèvement du niveau d'emploi, qui coïncidait alors avec le niveau du sol actuel de l'établissement (**). On ramena la source en entourant la partie supérieure de sa lanterne d'une ceinture très épaisse en glaise corroyée, sur laquelle on éleva une maçonnerie de briques fondée sur des cadres en bois. Ce travail nécessita de nombreuses réparations. Mais il fut peu à peu consolidé par les incrustations, et, en 1819, il fut possible de relever la source à $1^m,56$ au-dessus du sol, niveau qu'elle conserva jusqu'à l'exécution du sondage du Parc, en 1844.

« Ce fut donc sur un fond vaseux, pourri et mobile, sous les fondations mêmes de l'établissement, que durent être construits les massifs de béton destinés à former barrage contre les déviations latérales. Les eaux de l'Allier ne nous ont pas permis d'aller au delà des croûtes concrétionnées ($5^m,20$ à $5^m,70$ au-dessous du sol), et force fut de s'établir en quel-

(*) Cette source avait fait apparition, vers 1836, près de l'angle Sud-Est de l'établissement thermal (voir p. 505).

(**) Ce niveau, pris comme repère pour toutes les cotes relatives au Puits-Carré, est l'altitude $259^m,04$. Le sol de la galerie des sources est à $0^m,50$ en contre-bas.

ques points sur les sables vaseux du Nord et du Nord-Ouest. »

« La lanterne du Puits-Carré, lit-on plus loin dans le même rapport, présentait, au moment des travaux de 1845-46, un fond de sable vaseux avec débris concrétionnés. Ce fond était très incliné du Nord au Sud; les griffons s'y faisaient jour au pied de la paroi Sud, qui était en surplomb. En 1847, cette paroi, mise à découvert, jusqu'à $4^{m},05$ au-dessous du sol repère, pendant un épuisement de la source, dont on voulait déterminer le débit à ce niveau, s'éboula : le fond de la lanterne fut encombré et les griffons furent couverts de déblai. Il en résulta une diminution de débit, que l'on ne put combattre que par un dévasement du fond de la lanterne et par quelques coups de petite sonde poussés à environ 15 mètres de profondeur au-dessous du sol. C'est surtout depuis ces éboulements que les griffons du Puits-Carré, qui se portaient vers le Sud-Est en 1845-46, accusèrent une tendance à dévier vers le Nord. Un nouvel éboulement des parois de la lanterne se produisit en 1851, à la suite d'épuisements poussés jusqu'à $4^{m},62$ au-dessous du sol repère pour mesurer le débit de la source; il n'y a pas été remédié par un dévasement. . . . .

« En 1853-54, le Puits-Carré fut mis en communication directe avec les bâches destinées à emmagasiner l'eau minérale, par une nouvelle galerie souterraine, ouverte au travers des massifs de béton établis en 1845-46, et son niveau fut fixé à $3^{m},20$, avec faculté de la relever à $2^{m},92$, au-dessous du sol repère, pour alimenter les bâches par écoulement naturel.

« A ce dernier niveau, son débit oscillait entre 237 et 243 mètres cubes par 24 heures, le puits du Parc étant fermé.

« Mais à la suite des travaux exécutés sur la Grande-Grille, il tomba au chiffre de $204^{m^3},040$, celui-ci étant à son

émergence inférieure; la température du Puits-Carré était alors de 47°,7 (observations officielles des 18 et 19 novembre 1854).

« Les 9 octobre et 25 novembre, on trouva, dans les mêmes conditions, 204^{m3},040 à 207^{m3},360.

« Mais, les 17 février, 2, 3 et 4 mars 1856, on n'obtint plus que 145^{m3},152 à 146^{m3},802.

« Du 17 au 20 mars 1856, le puits du Parc étant ouvert, le débit du Puits-Carré oscillait entre 120^{m3},900 et 143^{m3},570, la température étant de 43°,6.

« On observa à cette époque que le griffon de la source, dont la position est révélée par celle du bouillon qui se produit à la surface de l'eau, s'était déplacé et porté vers le Nord, sous le massif de béton qui forme le sol de la galerie conduisant aux bâches; d'où l'on conclut que de nouveaux éboulements avaient eu lieu dans les parois de la lanterne, avaient obstrué les canaux d'émergence et causé la diminution de débit que l'on constatait. »

En février 1861, M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain, opérant dans les mêmes conditions que ci-dessus, a trouvé pour le débit du Puits-Carré 115^{m3},832 et pour sa température 45°.

Le 23 juillet 1873, à 1 heure du soir, M. Des Cloizeaux a trouvé à la buvette, qui est alimentée par une petite pompe et qui continue à porter le nom du Dr Chomel, une température de 43°,3, celle de l'air étant de 28° et le baromètre marquant 737 millimètres; la densité de l'eau ramenée à la température de 12° était de 1,0025 (*).

Dérivations observées dans le clos des Capucins. — C'est à une dérivation partielle des eaux du Puits-Carré vers le Nord-Ouest qu'il faut probablement attribuer, suivant M. François, les venues d'eau minérale et de gaz carbonique

(*) Dr Zénon Pupier, *Action des eaux de Vichy sur la composition du sang* (Paris, 1875), p. 126.

que l'on observe quand on fouille sur certains points le sol du *Clos-des-Capucins*, « où le gravier est converti en un véritable poudingue cimenté par l'action incrustante de ces eaux ». D'après un rapport de M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain, en date du 9 juin 1864, l'eau d'un puits situé dans ce clos (devenu la cour des laboratoires de l'établissement thermal), au point A (Pl. IX, *fig.* 2), et destiné à l'alimentation des générateurs de vapeur, contient par litre $0^{g},638$ de bicarbonate de chaux et laisse encore, après séparation de ce sel, un résidu très alcalin pesant $1^{g},06$. Enfin, au point B, en faisant une fouille pour établir le grand bassin des laboratoires, on a observé un dégagement très abondant de gaz carbonique.

Grande-Grille.

La source de la Grande-Grille est située à l'intérieur et près de l'extrémité orientale de la galerie Nord de l'établissement thermal.

Voici le résumé des observations faites jusqu'en 1844 sur la température et le débit de cette source. D'après Boulanger (*), le débit était mesuré en maintenant le niveau de l'eau « à la hauteur des robinets intérieurs » (à peu près au niveau du sol de l'établissement?)

DATES des expériences.	NOMS des observateurs.	DÉBIT par 24 heures.	TEMPÉRATURE.	OBSERVATIONS.
		mèt. cubes.	deg. centig.	
10 juill. 1775.	Lassonne.	»	48,75	
27 août 1777.	Desbrest.	»	40,63	
3 juin 1820.	Berthier et Puvis.	15,500	38,50	
1823.	Longchamp.	»	39,18	
Octobre et nov. 1843.	François.	8,080	34,20	
Janv., févr., mars, avril et mai 1844.	François et Boulanger.	4,750	32,25	La source du Parc a commencé à jaillir le 5 janvier 1844.

(*) *Statistique géologique et minéralogique de l'Allier*, p. 398.

Le jaillissement de la Grande-Grille a subi, paraît-il, des intermittences lors du tremblement de terre de Lisbonne, en 1753 (*).

A la fin de 1844, l'orifice d'écoulement de la source fut abaissé de $0^m,80$.

En 1847, elle ne donnait plus que $3^{m3},200$ à 32°,6 C.

« Lors des travaux exécutés en 1853-54, lisons-nous dans le rapport déjà cité de M. François, cette source ayant été dégagée jusqu'à $3^m,80$ de profondeur au-dessous du sol repère, on reconnut que la cheminée ascensionnelle était constituée par une colonne creuse d'aragonite à zones concentriques et à texture radiée, ayant environ $0^m,53$ de diamètre extérieur, placée verticalement dans les alluvions anciennes (sables et graviers plus ou moins cimentés). A son sommet, cette colonne présentait intérieurement une section ovale dont les deux axes mesuraient respectivement 23 millimètres et 10 à 11 millimètres. Elle fut recoupée à $3^m,40$ au-dessous du sol; à ce niveau, le vide intérieur avait 25 millimètres sur 35 millimètres. Après cette opération, la source jaillit avec force, son débit journalier passa immédiatement de $3^{m3},200$ à 91 mètres cubes et sa température de 32°,7 à 41°,8. . . . . Une colonne ascensionnelle en cuivre rouge étamé fut solidement établie sur la cheminée naturelle de la source, au moyen d'une cloche de captage munie d'un robinet de fond, dont l'axe fut fixé à $2^m,85$ au-dessous du sol repère.

« La source fut étudiée attentivement à tous les niveaux jusqu'au sol repère de l'établissement. Bientôt son débit au robinet de fond s'éleva à 98 mètres cubes et au delà. Elle perdait peu jusqu'à $1^m,10$ au-dessous du sol, où elle donnait 64 mètres cubes. A $0^m,80$ au-dessus du sol, c'est-à-dire au niveau où autrefois elle cessait de couler

(*) *Dictionnaire des eaux minérales*, par Durand-Fardel, Lebret, Lefort et François, à l'article : *Tremblements de terre.*

quand le Puits-Carré descendait au-dessous du sol général, elle fournit régulièrement 61^{m3},600. Son émergence fut fixée à 1^{m},05, puis relevée à 0^{m},73, au-dessous du sol repère; elle donna bientôt à ce niveau 62 à 63 mètres cubes.

« Elle fut aménagée de manière que son régime fût alternatif le jour et la nuit. Le jour, elle coule à son trop-plein (0^{m},73 au-dessous du sol); de 8 heures du soir à 4 heures du matin, elle est fixée au robinet de fond. Quand on ferme ce robinet, elle atteint le niveau du trop-plein en 1 minute 1/2 à 2 minutes. Dans ces conditions, elle débite le jour sur le pied de 61 à 63 mètres cubes et la nuit sur le pied de 94 à 96 mètres cubes, soit en moyenne de 71 à 73 mètres cubes à la température de 41°,8.

« Dans les conditions actuelles, la Grande-Grille, au robinet de fond, débite donc 33 à 35 mètres cubes de plus qu'à son émergence supérieure, sans prélever sur le Puits-Carré plus de 1 à 2 mètres cubes.

« Les modifications survenues à la Grande-Grille à la suite de la simple résection de la colonne d'ascension à 3^{m},40 au-dessous du sol repère, soit à 3^{m},73 au-dessous de son ancien niveau d'émergence, sont trop importantes pour que l'on ne s'y arrête pas. Avant cette opération, les relations les plus étroites existaient entre les deux sources, à tel point qu'une variation de 0^{m},70 à 0^{m},80 de leurs niveaux respectifs suffisait pour assécher complètement la Grille. C'est précisément à cause de cette relation immédiate, étudiée et contrôlée avec la plus grande exactitude de 1844 à 1849, que l'on a restreint, eu égard à la haute valeur de la buvette de la Grande-Grille, l'importance des travaux exécutés sur les deux sources en 1845-46. Déprimer la Grille de 0^{m},80, déprimer et enceindre le Puits-Carré, sans toucher à sa lanterne si instable autrement que par un dévasement à la cuiller à soupape et une reconnaissance en profondeur à la petite sonde, c'est ce à quoi l'on avait cru devoir borner les tentatives (il est vrai que ces opérations avaient donné un

volume d'eau minérale alors suffisant pour les besoins du service); et le projet d'approfondir à la sonde le Puits-Carré et de le tuber jusqu'au solide, bien qu'examiné et débattu avec soin, avait été écarté ou du moins ajourné. C'est par les mêmes motifs — suffisance actuelle du volume d'eau minérale disponible et relations des deux sources — que l'on résolut, en 1853, de se borner à une nouvelle dépression du Puits-Carré et à un dévasement de sa lanterne. Mais après la résection de la colonne de la Grille, il devint évident que les relations des deux sources étaient modifiées, qu'elles étaient moins étroites, d'autant moins que le soutirage d'eau et de gaz exercé par la Grande-Grille sur le Puits-Carré était plus marqué. On sait combien, pour les sources thermales à émission ascensionnelle, le dégagement abondant d'acide carbonique vient modifier, je devrais dire compliquer, et la force de jaillissement et le rapport qui existe entre le débit et le niveau d'écoulement. Les changements survenus à la Grande-Grille en sont un exemple frappant. Mais en attribuant même une large part à cette influence, il n'en paraît pas moins nécessaire d'admettre que le branchement souterrain de la Grande-Grille sur la cheminée ascensionnelle du Puits-Carré ne s'opère plus par expansion latérale à faible profondeur, comme cela paraissait avoir lieu précédemment, eu égard à l'égalité de température (48°,75) des deux sources, observée par Lassonne le 10 juillet 1775, et aux observations faites de 1820 à 1853 sur leurs températures et leurs débits respectifs. Il est probable que le branchement souterrain est à une profondeur (encore indéterminée) plus grande que celle du fond de la lanterne du Puits-Carré (15 à 17 mètres au-dessous du sol). Il y aurait donc actuellement, bien plus nettement et surtout jusqu'à une plus grande profondeur que par le passé, indépendance entre les cheminées d'ascension de la Grande-Grille et du Puits-Carré. Il résulterait de là que l'on pourrait, sans craindre d'intercepter la source

de la Grande-Grille, tenter de tuber le Puits-Carré jusqu'aux marnes tertiaires constituant le fond solide de sa lanterne, non seulement pour capter le volume d'eau considérable que font présumer les chiffres de 278 mètres cubes et de 316 mètres cubes obtenus en 1845 et 1851, en faisant baisser le niveau jusqu'à $4^{m},05$ et $4^{m},62$ au-dessous du sol repère, mais encore pour supprimer les pertes latérales aussi nombreuses qu'abondantes que l'on observe au sous-sol du clos des Capucins, entre ce clos et l'Allier et même dans le lit de cette rivière.

« Un instant, en 1854, il fut question de reprendre et de compléter le captage de la Grande-Grille et du Puits-Carré, mais le volume moyen de $277^{m3},500$ donné par ces deux sources étant considéré comme suffisant pour les besoins du service, on ajourna indéfiniment ce travail. »

Lors des jaugeages officiels effectués les 18 et 19 novembre 1854, la Grande-Grille donna :

à $0^{m},94$ au-dessous du sol repère	$60^{m3},895$	à	$41^{\circ},8$
à 3 ,30.	94 ,140		»

Les 9 octobre et 25 novembre 1855, on trouva :

au niveau inférieur.	$98^{m3},060$	à	$106^{m3},270$

Les 17 février, 2, 3 et 4 mars 1856 :

au niveau supérieur.	$60^{m3},480$	à	$67^{m3}.996$
au niveau inférieur.	103 ,680		106 ,172

Du 17 au 20 mars 1856 :

au niveau supérieur.	$58^{m3},930$	à	$42^{\circ},5$
au niveau inférieur.	92 ,200		»

En février 1861, M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain a trouvé :

au niveau supérieur.	$41^{m3},152$
au niveau inférieur.	71 ,427

Le 22 juillet 1873, à 7 heures du soir, M. Des Cloizeaux

a trouvé pour la température de la Grande-Grille 42°, celle de l'air étant de 26° et le baromètre marquant 739 millimètres. La densité de l'eau ramenée à 13° était de 1,0035 (*).

Puits-Lucas.

Le Puits-Lucas débouche dans une chambre souterraine, au sous-sol de la place des Acacias. Il est situé à 152 mètres à l'Est-Sud-Est de la Grande-Grille.

Au XVIIe siècle, il y avait, sur la place des Acacias, plusieurs sources (fontaines Gargniès de Fouet). Mais au XVIIIe, la source des Acacias existait seule. Au commencement du siècle actuel, son griffon se déplaça et apparut à la limite de la place et de la propriété Quintien-Sornin, soit à 13 mètres environ à l'Ouest-Nord-Ouest de la buvette des Acacias. Capté en ce point, il prit le nom de source Lucas; la buvette des Acacias fut néanmoins conservée et alimentée par une conduite qui s'embranchait sur la cheminée ascensionnelle de la nouvelle source. L'eau s'élevait dans deux petits bassins jusqu'à 0m,50 au-dessus du sol.

Voici le résumé des observations faites jusqu'en 1843 sur ces deux sources :

DATES des expériences.	NOMS des observateurs.	DÉBIT par 24 heures.			TEMPÉRATURE.	
		Lucas.	Acacias.	Total.	Lucas.	Acacias.
		mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.	deg. cent.	deg. cent.
10 juill. 1775.	Lassonne.	»	»	»	»	34,25
27 août 1777.	Desbrest.	»	»	»	»	28,13
1820.	Berthier et Puvis.	6,500	6,500	13,000	»	»
Octobre et nov. 1843.	M. François.	6,508	2,692	9,200	28,45	27,70

Au printemps de 1844, les constructions qui recou-

(*) Dr Zénon Pupier, *loc. cit.*

vraient la source Lucas furent rasées. « Après le dégagement des griffons (*), on pénétra plus avant; à $1^m,50$, on trouva une piscine romaine, qui fut déblayée et au fond de laquelle le débit des eaux était bien autrement considérable que ne l'avaient donné les anciens jaugeages. Une conduite partait de cette piscine pour conduire les eaux à la source des Acacias, la seconde des sources Gargniès de Fouet, qui fut supprimée du fait de ces travaux. Le fond de la piscine fut crevé, et au fur et à mesure que l'on descendait plus bas, le volume des eaux allait toujours croissant. Les ouvriers ne tardèrent pas à être arrêtés par un dégagement énorme d'acide carbonique; mais, grâce à une découverte ingénieuse de M. l'Ingénieur Faucille (**), on put se débarrasser de ce gaz et continuer le travail....
...En somme, la source fut déprimée par un puits tubulé de $7^m,60$ de profondeur, ouvert partie dans le gravier, partie dans les marnes tertiaires concrétionnées par les eaux minérales (***). »

« Les travaux pratiqués sur la source Lucas de 1853 à 1854 eurent pour but l'aménagement définitif de cette source, dont on avait reconnu l'indépendance par rapport à la Grande-Grille et au Puits-Carré. Une fosse quadrangulaire MNJH (Pl. X, *fig.* 1 et 2) de $3^m,30$ de profondeur, capable de contenir un moteur et des pompes, fut creusée à $5^m,50$ de distance du puits provisoire de 1844. Un large puits G, de $10^m,80$ de profondeur, descendant ainsi à 14 mètres au-dessous du sol, fut approfondi à l'angle de

(*) *Rapport sur la source Lucas*, par le Docteur Prunelle, médecin-inspecteur de l'établissement thermal de Vichy, publié et annoté par le Docteur Zénon-Pupier (Paris, 1873), p. 11.

(**) On eut recours à un jet de vapeur que l'on amenait au fond du puits par un tuyau et qui était fourni par une petite chaudière placée à la surface. — Note de M. Faucille (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXII, p. 530) et note de M. François (*idem*, t. XXIII, p. 5).

(***) Rapport de M. François en date du 16 avril 1856.

la fosse le plus voisin du puits provisoire. Puis, à cette profondeur, une galerie R de 6^m,40 de longueur vint recouper la cheminée ascensionnelle de Lucas sous le puits provisoire. Le débit obtenu au fond du puits nouveau était de 105 à 110 mètres cubes à 32°. On revêtit ce puits d'une chemise en moellons smillés jointifs, ayant 1^m,60 de diamètre dans œuvre, pour pouvoir plus tard y établir des pompes élévatoires sans aspiration. En même temps, la fosse était reliée aux bâches des Capucins par un aqueduc de 273 mètres de développement, situé sous la rue Lucas.

« Après quelques mois, le Puits-Lucas, dont le déversoir était fixé à 3^m,68 au-dessous du sol de la place des Acacias (niveau du regard), débitait spontanément vers ces bâches d'abord 43 mètres cubes, puis 49 mètres cubes, puis, en novembre 1854, 50^{m3},600 à la température de 28°,6. A défaut de pompes suffisantes et spéciales, on n'a pu encore l'épuiser à fond et mesurer son débit dans ces conditions. Il est probable qu'on y trouverait au moins le débit de 105 à 110 mètres cubes observé pendant et après les travaux. »

Lors des jaugeages effectués du 17 au 20 mars 1856, le débit spontané, au niveau du déversoir, était de 50^{m3},140 et la température de 28°,5.

En 1861, d'après les observations de M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain, ce débit n'était plus que de 21 mètres cubes.

Source Prunelle. — « Les acquéreurs du jardin de l'hôtel Montaret, écrivait en 1847 le docteur Prunelle, en enlevant seulement quelques pelletées de terre, feraient jaillir la source Lucas sur leur sol, où elle se porte déjà dans certaines circonstances, de même que dans le jardin Guilliermen » (*).

En novembre 1873, peu de temps après la publication

(*) Rapport précité, p. 12.

de ces lignes, M. N. Larbaud, fit creuser, dans le sous-sol d'une maison sise dans l'emplacement du jardin Montaret (Pl. X, *fig.* 1 et 2), un puits de recherche d'eau minérale P, qui fut poussé, malgré un arrêté préfectoral d'interdiction en date du 6 décembre 1873, jusqu'à la profondeur de $9^m,60$ environ en contre-bas du sol de la rue Montaret, sur un diamètre de $1^m,25$. D'après les renseignements donnés par M. Larbaud, ce puits aurait traversé les assises suivantes :

	mètres.
Terre végétale et sable fin	3,20
Sable pur	0,80
Sable gras, caillouteux, aquifère	0,80
Argile bleue	0,50
Calcaire argileux tendre	1,40
Marne bleue ou noire	2,00
Calcaire jaunâtre, dont les bancs plongent vers la rue Montaret avec une pente de $0^m,30$ par mètre	0,90
Profondeur totale	9,60

Quelque temps après, le puits fut élargi et remplacé, jusqu'à la profondeur de 7 mètres, par une large excavation quadrangulaire *a b c d* ayant 6 mètres carrés de section et s'étendant jusque sous les murs de la maison ; autour de cette fouille fut construite une enceinte en béton de ciment, qui supporte sur deux de ses faces les fondations du bâtiment. Dans le puits lui-même on établit une sorte de cheminée en béton, ayant $0^m,82$ de diamètre dans œuvre et qui s'élève jusqu'à $1^m,40$ au-dessus du fond de la fosse quadrangulaire. Cette cheminée est fermée par une dalle en pierre de Volvic, où s'emboîte un long tuyau vertical en fonte. L'eau minérale afflue dans le puits ainsi que dans la fosse. Telle est la source à laquelle M. Larbaud a donné le nom du Dr Prunelle.

Relations des sources Lucas et Prunelle. — Le 23 mars 1874, on fit une première expérience pour étudier les relations de cette source avec le Puits-Lucas.

Avant l'expérience, tout épuisement ayant cessé depuis quelque temps à la source Prunelle, le niveau de l'eau s'y tenait sans variation à la cote — $4^{m},23$ (cette cote et toutes celles qui vont suivre sont rapportées à un plan horizontal situé au niveau du regard de la chambre du Puits-Lucas et qui est lui-même à l'altitude de $259^{m},48$) ; et le déversoir du Puits-Lucas, situé à la cote — 3,68 débitait spontanément $7^{m^3},855$ d'eau par 24 heures, à la température de 27°,5.

L'épuisement du réservoir Larbaud fut commencé à 3 h. 1/2 du soir, à l'aide d'une puissante pompe à bras.

Au bout de trois quarts d'heure à peine, la source Lucas cessa de couler à son déversoir.

Après 3 heures environ, le niveau de l'eau, dans le Puits-Lucas, s'était abaissé jusqu'à $0^{m},12$ en contre-bas du déversoir; après 5 h. 1/2, à $0^{m},18$ et enfin, après 7 h. 1/2, à $0^{m},20$, soit à la cote — 3,88. A ce moment, le réservoir Larbaud, dont le fond est à la cote — 8, 07, était à sec depuis un certain temps déjà, de même que le puits, qui descend jusqu'à la cote — 9,78 et où l'on avait fait agir une deuxième pompe. Les deux pompes donnaient ensemble 2 à 3 litres par seconde environ, soit, par 24 heures, 173 mètres cubes d'eau à la température de 23°,5. Une partie de l'eau affluente découlait visiblement des parois du réservoir qui, à cette époque, n'étaient pas absolument étanches, et provenait principalement de la nappe abondante d'eau douce qui existe à la base des sables superficiels vers la cote — 5.

Ces faits établissent positivement que la source Prunelle n'est pas indépendante de la source Lucas. Toutes deux sont alimentées par une même nappe ou veine ascendante d'eau minérale, dont elles constituent deux bouches distinctes. La source Prunelle, quand on y fait baisser à l'aide de pompes le niveau de l'eau au-dessous d'une certaine limite, absorbe à elle seule ce flux d'eau minérale; et le

Puits-Lucas, où l'eau reste alors stagnante, n'est plus qu'un tube piézométrique branché sur le tronc commun de la conduite souterraine naturelle. S'il en est ainsi, dira-t-on, le puits Larbaud jouait le même rôle avant l'expérience, quand l'eau minérale s'écoulait au jour uniquement par le déversoir du Puits-Lucas; comment alors s'expliquer que le niveau (— 4^m,23) auquel l'eau s'y maintenait fût inférieur à celui de ce déversoir (— 3^m,68), quand au contraire il aurait dû lui être supérieur d'une quantité en rapport avec la vitesse de l'eau dans le Puits-Lucas? Cela tient à ce que le réservoir Larbaud, n'étant pas étanche, ne pouvait, en réalité, jouer le rôle d'un tube piézométrique : l'eau minérale y affluait constamment, mais elle s'infiltrait en même temps à travers les parois perméables du bassin et se répandait dans les sables superficiels, qui règnent, comme on l'a vu, jusqu'à la cote — 5 mètres; dès que son niveau avait atteint la cote — 4^m,23, il restait invariable, parce que les pertes compensaient exactement le débit de la source. Par contre, lorsque l'on mettait à sec le puits Larbaud, un phénomène inverse se produisait : la nappe d'eau douce donnait lieu à des infiltrations qui alimentaient en partie les pompes.

De nouvelles expériences furent faites du 11 au 16 janvier 1875.

Le 11, à 7 heures du matin, on commença l'épuisement du Puits-Lucas, au moyen de pompes Letestu, manœuvrées par seize hommes. Au bout de 20 heures, le niveau, qui s'était abaissé lentement, restait stationnaire à la cote — 11^m,16. Une deuxième pompe fut alors mise en action, et le 12, à minuit, soit après 41 heures de travail ininterrompu, le puits était à sec; ou du moins il n'y restait qu'une hauteur d'eau de 0^m,35, strictement suffisante pour le jeu des pompes. Le niveau était ainsi maintenu à la cote — 12^m,03. Il le fut jusqu'au 16, à 1 heure et demie du soir, soit pendant plus de trois jours et demi.

Dans ces conditions, les pompes débitaient ensemble, en moyenne :

		litres.		m. cub.	
le 13,	au matin,	1,52	par seconde,	soit 131	par 24 heures
le 14,	à 5 heures du soir,	1,41	id.	soit 122	id.
le 15,	dans la journée,	1,15	id.	soit 99	id.

Ce dernier chiffre se rapproche beaucoup de celui de 105 à 110 mètres cubes obtenu par M. François, après les travaux exécutés par lui en 1853-54.

Le 11 janvier, à 10 heures du soir, le niveau de l'eau était déjà tombé :

dans le réservoir Larbaud, à la cote. . . . . . . — 6m,53
et dans le puits qui y débouche, id. . . . . — 6m,44

Le 13, à 11 heures du matin, il était descendu :

dans le réservoir, à la cote. . . . . — 6m,03
et dans le puits, id. . . . . — 6m,89

Enfin, le 14, à 1 heure du soir, il s'était abaissé :

dans le réservoir, à la cote. . . . . — 6m,33
et dans le puits, id. . . . . — 7m,04
La température de l'eau était d'ailleurs, dans le réservoir, de. . . . . 21°,5
et dans le puits, de. . . . . 23°,0

Le 15, on obtint les mêmes chiffres que le 14.

Après ces observations, le réservoir et le puits Larbaud furent épuisés à fond (le Puits-Lucas étant toujours maintenu à la cote — 12m,03), puis on les abandonna à eux-mêmes : au bout de 17 heures, le niveau de l'eau s'était relevé :

dans le réservoir, à la cote. . . . . — 6m,56
et dans le puits, id. . . . . — 7 ,19

En dernier lieu, on mesura la quantité d'eau obtenue en épuisant alternativement le réservoir et le puits Larbaud (le Puits-Lucas étant toujours maintenu à la cote

— $12^m,03$). Une première opération faite sur le réservoir, dans la nuit du 15 au 16, donna $0^{lit.},125$ par seconde, soit 11 mètres cubes par 24 heures. Une deuxième opération, exécutée sur le même réservoir dans la journée du 16, donna $0^l,18$ par seconde, soit 16 mètres cubes par 24 heures. La discordance de ces deux résultats provient vraisemblablement de l'imperfection du mode de jaugeage adopté (*).

Quant au puits, il donna seulement $0^{lit.},035$ par seconde, soit 3 mètres cubes par 24 heures.

En résumé, ces nouvelles expériences démontrèrent une fois de plus la solidarité intime des deux sources Lucas et Prunelle. Quand les choses sont disposées de telle sorte que l'eau minérale s'écoule uniquement par le Puits-Lucas, maintenu à la cote — $12^m,03$, le puits Larbaud est réduit au rôle d'un *tube piézométrique* (les parois du réservoir avaient été, paraît-il, rendues étanches depuis la première série d'expériences et le puits était complètement isolé de la nappe d'eau douce), où le niveau se fixe à la cote — $7^m,04$, soit à $4^m,99$ au-dessus de l'*orifice d'écoulement*, qui débite alors environ 99 mètres cubes par jour. Quand, au contraire, l'écoulement a lieu uniquement par la source Prunelle, maintenue à la cote — $9^m,58$ environ ($0^m,20$ au-dessus du fond), c'est le Puits-Lucas qui se transforme en un tube piézométrique, où le niveau se fixe à la cote — $3^m,88$, soit à $5^m,70$ au-dessus de l'orifice d'écoulement : dans ce deuxième cas, le débit n'est pas connu, mais il est, en tout cas, inférieur au chiffre de 173 mètres cubes, obtenu le 20 mars 1874, et qui comprend une notable quantité d'eau douce, provenant de la nappe située à la base des sables superficiels, vers la cote — 5 mètres.

(*) Rapport de M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain, en date du 26 janvier 1875.

Nous ajouterons qu'ayant affaire ici à des eaux éminemment gazeuses, qui, dans les parties étroites de leurs conduits naturels, sont à l'état d'*émulsion*, d'une densité indéterminée, au lieu de constituer un véritable liquide, on ne saurait attribuer à ces chiffres la même signification que s'il s'agissait d'eau ordinaire.

Débit de la source Lucas, en février 1878. — Voici les résultats d'un jaugeage effectué par nous sur la source Lucas, les 14 et 15 février 1878.

Le 14, à 5 heures du soir, le déversoir du puits débitait à raison de $20^{m^3},324$ et le 15, à 7 heures du matin, à raison de $21^{m^3},750$ par 24 heures. Lors de ces deux observations, le baromètre marquait respectivement $744^{mm},7$ et 743^{mm} au niveau de l'orifice de ce puits; la baisse survenue dans la nuit rend compte de l'accroissement de débit constaté. La température de l'eau était de 30 degrés.

Le débit de la source Lucas au niveau du déversoir serait donc en moyenne de $20^{m^3},737$. La différence entre ce chiffre et celui obtenu le 23 mars 1874 ($7^{m^3},855$) tient, du moins en grande partie, à ce que la conduite allant du déversoir au point où s'effectue le jaugeage (à l'angle de l'aqueduc Lucas et de la chambre du puits) a été réparée en février 1874; auparavant, elle n'était rien moins qu'étanche.

Source de l'Hôpital.

La source de l'Hôpital, autrefois désignée sous le nom de Gros-Boulet, est située au milieu de la place Rosalie, près de l'hôpital civil et du nouvel établissement de bains auquel elle a donné son nom.

A leur sortie du travertin concrétionné d'où elles jaillissent, ses eaux sont reçues dans un puits carré, profond de 2 mètres environ, taillé dans la même roche et surmonté d'une grande vasque circulaire, au centre de laquelle la source bouillonne.

Le trop-plein de la vasque est à $1^{m},72$ en contre-haut du sol de la rue qui longe l'hôpital, sol qui est lui-même à l'altitude de $260^{m},91$.

« Le bassin repose sur une alternance de travertin et de sables apportés par la source. A une profondeur de 3 à 4 mètres, on rencontre les marnes tertiaires... On sait que les griffons de cette source sont engorgés, que des naissants d'eau minérale, ayant des relations connues avec elles, existent notamment dans les caves et les jardins Collas et Petit et sous la place du Fatiteau (aujourd'hui place de l'Hôtel-de-Ville).

« La source de l'Hôpital a présenté un régime à peu près invariable depuis 1820. Toutefois, en 1846, une perte de 4 à 6 mètres cubes s'étant produite fut combattue par le bétonnement du sol du bassin circulaire et par le dégagement du sol du puisard au fond duquel se trouvent les griffons. Bien que le débit n'ait pas varié, la source paraît s'être modifiée : en 1844, on observait dans le puisard 4 naissants ; depuis 1853, j'ai remarqué que le naissant du Sud a disparu, sans doute pour se joindre aux trois griffons actuels (*). »

Le 10 juillet 1775, d'après Lassonne, de même que le 27 août 1777, d'après Desbrest, la température de la source de l'Hôpital était de 36°,25 C.

Le débit de cette source a été trouvé :

	m. cub.	deg. C.
en 1820, au niveau du trop-plein du bassin, par Berthier et Puvis, de.	56,000	
en 1823, au niveau du trop-plein du bassin, par Rose-Beauvais, de.	51,000 à	35,25
en octobre et novembre 1843, au niveau du trop-plein du bassin, par M. François, de.	53,550 à	31,60
en janvier 1844, au niveau du trop-plein du bassin, par MM. François et Boulanger, de. . . .	52,416 à	29,90
en février, mars, avril et mai 1844, au robinet de		

(*) Rapport de M. l'Inspecteur général François, en date du 16 avril 1856.

	m. cub.	deg. C.
jauge placé sur la paroi verticale du bassin, à $0^m,51$ en contre-bas du dessous de la grille du réservoir, par MM. François et Boulanger, de.	63,009 à	29,90
en 1847, au niveau du trop-plein du bassin, par M. François, de.	53,000 à	31,70
en novembre 1854, au robinet de jauge, par M. François, de.	63,120 à	31,70
du 17 au 20 mars 1856, au robinet de jauge, par MM. François et Pigeon.	47,439 à	30,70
du 17 au 20 mars 1856, à la bonde de fond (l'eau de la source s'écoulait depuis 24 heures à ce niveau), par MM. François et Pigeon.	49.627 à	34,45
le 13 octobre 1869, à la bonde de fond, par M. de Gouvenain.	51,391 à	34,70
le 14 octobre 1869 (le jaugeage de la veille terminé, on avait replacé la bonde de fond et laissé couler la source par le tuyau d'alimentation des bains de l'hôpital civil, dont un joint avait été démonté à cet effet; il y avait ainsi $1^m,76$ de charge d'eau sur les griffons), par M. de Gouvenain.	48,965 à	34,5

Le 26 juillet 1873, à 2 heures du soir, la température de l'air étant de 31° et le baromètre marquant 737^{mm}, M. Des Cloizeaux a trouvé à la buvette une température de 34°; l'eau de cette buvette, ramenée à la température de 9°, avait une densité de 1,0025 (*).

Nous avons indiqué sur la *fig.* 2 (Pl. IX) la position des sources parasites mentionnées ci-dessus.

La source *Collas* se trouve au point C, au bord de la rue de la Porte-de-France, dans une petite cour attenante à la maison Forestier; elle est recouverte par une dalle et sa position est marquée par une borne.

En voulant creuser une cave dans cette même maison Forestier, on a trouvé presque à fleur du sol un travertin calcaire, dont la dureté a fait renoncer à ce travail ; dans ce travertin, on a remarqué, au point D, une fissure béante,

(*) Dr Zénon Pupier, *loc. cit.*

dirigée vers la source de l'Hôpital, remplie d'eau minérale et dans laquelle une tige de fer a pu librement pénétrer jusqu'à 2 ou 3 mètres de profondeur.

La source *Pacaud-Petit* est au point E, dans la cave de la maison Jardin : il y a là, dans le travertin, un petit bassin à moitié rempli d'eau minérale stagnante.

Une autre source semblable à la précédente existe au point F, dans la cave de la maison Grolleau ; elle est recouverte par une dalle.

Nous n'avons pu nous procurer aucun renseignement précis sur les pertes de la place de l'Hôtel-de-Ville (ancienne place du Fatiteau).

Au point G, en faisant des fouilles pour les fondations de la maison Forge, on a mis à jour, à 3 mètres de profondeur, une source minérale abondante, que l'on a aveuglée immédiatement. Il paraît qu'il y avait autrefois une buvette à cette source, qui se trouvait au pied de l'ancien rempart, près de la Porte-de-France.

Au point H, une cave a été entièrement creusée dans le travertin, où l'on observe de nombreuses fissures verticales, dirigées vers la source de l'Hôpital et remplies d'un calcaire pulvérulent. Il n'est pas douteux que ces fissures ont jadis livré passage à l'eau minérale, avant d'être obstruées par ce dépôt.

Il est à noter que tous les points que nous venons de mentionner, y compris la source principale et l'ancienne source de la place de l'Hôtel-de-Ville, sont situés *dans une zone étroite et allongée de l'Est-Sud-Est à l'Ouest-Nord-Ouest.*

Sources des Célestins.

Les Célestins constituent aujourd'hui un groupe de cinq sources, dont quatre seulement sont utilisées et ont été désignées par M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain, lors de l'enquête relative à l'institution du périmètre de

protection, sous les noms suivants : *Anciens Célestins n° 1*, *Anciens Célestins n° 2*, *Nouveaux Célestins n° 1* et *Nouveaux Célestins n° 2*.

La cinquième, située au point A (Pl. X, *fig.* 3 et 5), au fond d'un puits, n'est guère qu'un suintement; elle a une saveur désagréable, que l'on attribuait autrefois à des infiltrations provenant du bâtiment des Célestins, alors transformé en étable, mais qui persiste depuis la suppression de cette étable. Elle n'est pas utilisée.

La source mentionnée dans l'ouvrage de Jean Banc (voir plus haut, p. 502), laquelle jaillissait de l'escarpement rocheux sur lequel s'élevait l'ancien couvent, a disparu, nous ne savons à quelle époque, peut-être par suite de la destruction partielle du rocher, qui pendant un certain temps a été exploité en carrière pour moellon.

La source des *Anciens Célestins n° 1* sourdait autrefois au point B et était recueillie dans un puits carré creusé dans le roc.

Nous rassemblons dans le tableau ci-dessous les observations faites à différentes époques sur la température et le débit de cette source.

DATE de l'observation	NOM de l'observateur.	DÉBIT par 24 heures.	TEMPÉRATURE.
		mètres cubes.	degrés centigr.
10 juillet 1775.	De Lassonne.	»	27,50
27 août 1777.	Desbrest.	»	22,19
1820.	Berthier et Puvis.	0.500	16,00
Octobre et novembre 1843.	M. François.	0,253	16,30
Février, mars, avril et mai 1844.	MM. François et Boulanger.	0,148	12,00

En 1846, le puits où se trouvait le griffon de la source fut approfondi, et l'on obtint un débit de 1.100 litres d'eau à la température de 15°. Mais le débit, après s'être maintenu à ce chiffre jusqu'en 1847, s'abaissa à 840 litres en 1849, puis à 550 litres dans la période de 1849 à 1852.

On résolut alors de faire de nouveaux travaux portant

à la fois sur les anciens Célestins n° 1 et la source innommée A. « Une citerne de 1 mètre de largeur sur 8m,85 de longueur dans œuvre fut creusée à la pointerolle, dans le travertin à feuillets verticaux (près de sa limite), des joints duquel sortent les deux sources. Du côté de l'Allier et au fond, la citerne fut mise à l'abri des infiltrations d'eau douce par un massif de béton. Les deux sources (la source B s'était transportée au point C suivant une fissure de la roche) furent reçues dans deux cuvettes spéciales, où le puisement s'opère au moyen de pompes foulantes. Le débit des *Anciens Célestins n° 1* fut ramené au chiffre de 1.120 litres, observé en 1846; mais il eut à subir l'influence des travaux faits sur les *Nouveaux Célestins* et tomba à 810, puis à 528 litres, la température étant de 12°. Les jaugeages effectués du 1er au 20 mars 1856 ont indiqué un débit de 500 à 617 litres, selon le niveau, et une moyenne journalière de 560 litres (*). »

Ultérieurement, on a comblé la citerne en y ménageant un puits pour chacune des sources. Celui de la source utilisée a 0m,85 de côté et 3m,11 de profondenr.

			litres.
Son débit a été trouvé,	en	1860, de.	524
Id.	id.	en 1868, de.	224
Id.	id. le 17 nov.	1874, de.	100 à peine,

le puits étant maintenu à sec.

Le 13 février 1879, nous avons trouvé, au robinet d'embouteillage, l'eau se tenant au niveau de ce robinet, un débit de 0lit,197 par minute, soit de 0m3,284 par 24 heures. A ce moment l'eau se tenait, dans le puits des Anciens-Célestins n° 2, au niveau de l'origine de la conduite allant au caveau d'embouteillage.

Ajoutons que l'altitude du sol, auprès de la source, est de 256m,77.

Nouveaux Célestins n° 1 ou *source de la Vasque.* — Depuis longtemps l'existence d'une source minérale se mani-

(*) Rapport de M. François, en date du 16 avril 1856.

festait au point D au fond d'un cloaque, à 30 mètres environ au Nord des Anciens Célestins; il s'y dégageait de nombreuses bulles d'acide carbonique et l'eau ne s'y congelait pas, même pendant les plus grands froids. En 1854, la Compagnie fermière de l'établissement thermal, ayant asséché ce bas-fond et mis à nu le travertin, y découvrit plusieurs griffons épars, ayant une température de 12 à 14° et débitant ensemble, par 24 heures, 5.000 à 5.400 litres d'une eau minérale qui paraissait être la même, sinon plus savoureuse, que celle des Anciens Célestins n° 1. L'État acquit alors le terrain où ils se trouvaient, et, en 1856, M. l'Ingénieur en chef Pigeon y exécuta des travaux de recherche, à la suite desquels un griffon important fut capté dans un puits F de $1^m,50$ de profondeur. D'après un rapport de M. Pigeon, en date du 26 septembre 1858, cette source donnait environ 8.000 litres par 24 heures, quand il n'y avait pas de charge sur le griffon, et seulement 1.800 litres, quand le puits était plein jusqu'au niveau du sol.

Au commencement du travail, on avait observé, au point G, un petit griffon d'eau minérale, qui était en communication directe avec la source D.

En 1857, en entamant le rocher pour la construction d'une grotte artificielle destinée à abriter la buvette de la source F, on en découvrit, au point H (Pl. X, *fig.* 4), une seconde, qui donnait 8.000 litres par 24 heures et dont le griffon était situé à 2 mètres en contre-haut du fond du puits. On disposa pour la recevoir une vasque, dans laquelle on puisait l'eau à la main pour la buvette et d'où partaient deux tuyaux souterrains, l'un allant au caveau d'embouteillage, l'autre recevant l'eau qui s'écoulait par le déversoir du trop-plein. Cette deuxième source, qui était beaucoup plus avantageuse que la première, à raison de son niveau supérieur, et qui suffisait aux besoins, fut seule conservée, et la première fut aveuglée sous le sol bitumé de la grotte.

Le débit de la source de la Vasque a constamment di-

minué depuis l'époque de sa découverte, par suite de l'incrustation et de l'engorgement de son conduit naturel au voisinage de la surface.

				mètres cub.
En 1859, elle ne donnait plus, par 24 heures, que				4,800
	1860,	id.	id.	3,099
	1868,	id.	id.	1,429
Le 20 nov. 1874,		id.	id.	0,500 à 14°,4

Anciens Célestins n° 2. — Cette source, située à quelques mètres au sud des Anciens Célestins n° 1, a été découverte, en 1870, par M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain. Un puits K fut creusé jusqu'à la profondeur de 4 mètres dans le travertin à feuillets verticaux, sur un point désigné par un suintement d'eau minérale observé à la surface du sol. Une simple amorce de galerie, ouverte au fond de ce puits, vers le Nord, normalement aux croûtes verticales de calcite fibreuse et d'aragonite, est tombée sur une veine *ab* d'argile brune, épaisse de $0^m,10$ environ, intercalée entre les veines calcaires, et d'où la source a jailli en coulant dans le sens indiqué par la flèche (Pl. X, *fig.* 3 et 6) à la surface d'un feuillet d'aragonite fortement incliné vers le Sud-Sud-Ouest.

Sans charge sur le griffon, cette source débitait, par 24 heures, 18 à 20 mètres cubes d'eau à la température de 15°,2. Mais en novembre 1875, on vit son débit se réduire de 18 à 15 mètres cubes environ, sous l'influence soit des épuisements prolongés dont elle fut l'objet à cette époque, soit du fonçage du puits de M. Millet, situé à 60 mètres de là, sur le prolongement du rocher des Célestins.

Le 13 février 1879, en jaugeant cette source à l'extrémité de la conduite de $0^m,07$ de diamètre qui va au caveau d'embouteillage, l'eau se tenant dans le puits au niveau de l'origine de cette conduite, nous avons constaté un débit de $9^l,033$ par minute, soit de $13^{m^3},007$ par 24 heures, et une température de 14°,5.

Nouveaux Célestins n° 2. — En 1870, en même temps

que les ingénieurs de l'État exécutaient les travaux qui ont amené la découverte de cette belle source, la Compagnie fermière, suivant le conseil de M. l'Ingénieur en chef Pigeon, mit à découvert l'ancien puits F et déblaya sur une certaine étendue les matériaux rapportés qui constituaient le sol de la grotte. Elle découvrit de nombreux griffons d'eau minérale plus ou moins mélangée d'eau douce. Deux de ces griffons, M et N, furent choisis à l'exclusion de tous les autres et captés dans une sorte de puisard. Pour arrêter les eaux douces provenant de l'Allier, qui affluaient abondamment à travers les roches pourries et désagrégées de la partie antérieure de la grotte, on établit, dans une large tranchée, un barrage en béton. Mais ce travail n'a pas pleinement réussi, car après son achèvement, l'alcalinité de la nouvelle source était encore inférieure d'un dixième environ à celle de la source de la Vasque.

En avril 1870, les Nouveaux Célestins n° 2 débitaient journellement, sans charge sur les griffons, $13^{m^3},620$ d'eau à 16 degrés.

Rocher des Célestins. — Toutes les fouilles exécutées pour la recherche ou le captage des sources du groupe des Célestins ont été faites dans le massif rocheux désigné sous le nom de Rocher des Célestins, qui, par sa manière d'être exceptionnelle, a souvent eu le privilège d'exercer la sagacité des géologues.

Ce rocher, bien qu'il ait été longtemps exploité en carrière comme pierre de construction, est encore visible sur une longueur de plus de 300 mètres, depuis le point K, situé au pied du perré de la digue, jusqu'au point X, dans l'ancienne rue du Rempart. Dans ses parties les plus remarquables, il constitue une sorte de mur à peu près rectiligne, qui formait le soubassement du rempart de la ville et du couvent des Célestins et dont le pied était autrefois baigné par l'Allier ; il est aujourd'hui séparé de la rivière par une

digue longitudinale et par le Nouveau Parc. Ce mur, au lieu d'être formé d'assises horizontales, se compose d'un grand nombre de cloisons sensiblement verticales, qui son juxtaposées.

Au point K (Pl. IX, *fig.* 2), — au point L, dans l'enclos Lardy, — suivant la ligne MN, dans la propriété Millet, — on voit ces lames rocheuses, plus ou moins ébréchées, s'élever au-dessus du sol environnant et former ensemble une crête saillante d'un à deux mètres de largeur. La roche, en feuillets verticaux ou plongeant au Sud sous un angle de 80 degrés au moins, reparaît de O en P, supportant l'ancien bâtiment des Célestins et formant en quelque sorte le mur de soutènement de la terrasse ou parc supérieur des Célestins. On la retrouve ensuite en Q, où elle traverse la rue avec une épaisseur de 1^{m},20; et enfin en R et S, au sol d'une maison particulière. En outre, les fouilles exécutées sur les diverses sources des Célestins ont fait constater qu'au voisinage de ces sources, elle occupe une zone assez large, où son affleurement est masqué par des alluvions ou des remblais : il y a lieu de penser que, dans toute l'étendue de cette zone, elle a été démantelée jusqu'au niveau du sol de la grotte, soit par les érosions de l'Allier, soit plutôt par la main de l'homme. Au droit de la grotte, sa largeur totale serait de 13 mètres environ.

Les veines ou croûtes parallèles qui constituent ce rocher sont de nature assez variable. Généralement elles se composent d'aragonite ou de calcite fibreuse et translucide, en fibres normales aux parois, qui sont légèrement ondulées et mamelonnées; l'épaisseur de la veine ne dépasse pas alors 2 ou 3 centimètres. Dans les veines plus épaisses, la texture fibreuse s'efface et la masse devient plus compacte. Ailleurs le dépôt calcaire est terreux et présente une texture confuse. Enfin, en quelques points, on a trouvé des poches irrégulières, remplies de pisolithes d'un calcaire opalin, mélangé d'un peu de silice. Fréquemment on

observe dans la roche calcaire des cavités ou soufflures, aplaties suivant l'épaisseur des feuillets et parfois allongées dans le sens vertical, comme en produiraient des bulles de gaz en se dégageant d'une matière pâteuse.

A côté et de part et d'autre du rocher que nous venons de décrire, il existe d'autres masses calcaires, à texture concrétionnée, non cristalline, souvent compacte, dont les couches successives, quand on les distingue, sont tantôt contournées, tantôt planes, mais inclinées en divers sens, parfois horizontales. Tels sont les dépôts de travertin que l'on peut voir aux points T, U, V, X (Pl. IX, *fig.* 2); tel est encore celui qui, d'après Boulanger (*), a été recoupé par l'ancien puits Z du couvent des Célestins et qui forme une masse de 8 à 10 mètres d'épaisseur en couches presque horizontales et reposant sur les marnes lacustres.

La singulière formation de travertin des Célestins a été signalée par Lyell et Murchison dans leurs *Principles of Geology* (t. IV, p. 401).

Viquesnel. dans son *Mémoire sur les environs de Vichy* (**), mettant surtout en relief la coupe observée dans le puits de l'ancien couvent des Célestins, a émis l'opinion que le rocher principal appartenait primitivement à une couche horizontale, dont un énorme fragment, détaché par l'action érosive de l'Allier sur les marnes sous-jacentes, se serait rompu et aurait basculé.

Boulanger, dans sa *Statistique géologique et minéralogique du département de l'Allier* (p. 236) a adopté la même hypothèse.

M. Pigeon, dans un rapport de service, a admis qu'une large nappe d'eau minérale, formant chute au bord d'une falaise rectiligne, avait pu déposer sur place le travertin en feuillets verticaux.

(*) *Statistique géologique et minéralogique de l'Allier*, p. 236.
(**) *Bull. de la Soc. géol.*, 1842-43, 1re série, t. XIV, p. 145.

Dans un mémoire publié à la suite d'observations faites pendant l'été de 1850 (*), Murchison repousse absolument cette dernière hypothèse. « Personne, dit-il, ne peut examiner ces strates verticales d'aragonite, sans être convaincu qu'elles ont été formées primitivement dans une position plus ou moins horizontale. Si les eaux qui les ont déposées étaient tombées en cascade, jamais elles n'auraient pu former une pareille série de lits verticaux et parallèles... et il n'y a dans la nature aucune force capable de déposer des sédiments en couches verticales, au moment de leur formation, sur une longueur de 250 pas. » Murchison attribue les faits observés à l'existence d'une faille : les couches de travertin se seraient rompues et un lambeau de rocher serait tombé dans la fissure béante.

Les hypothèses que nous venons de résumer touchant l'origine du rocher des Célestins nous paraissent inadmissibles.

Si ce n'était qu'un immense bloc de travertin échoué au bord de l'ancien lit de l'Allier, comment s'expliquerait-on l'existence des nombreuses sources qui cheminent entre ses feuillets? Par où les eaux minérales s'introduiraient-elles dans cette ruine? Comment concevrait-on la pureté, la richesse en gaz, la force ascensionnelle des sources des Célestins?

Nous avons, d'ailleurs, observé un fait dont aucune des trois hypothèses ci-dessus ne saurait rendre compte : près de l'angle Sud-Ouest de l'ancien bâtiment des Célestins, au point I (Pl. IX, *fig.* 2), on voit une fente verticale de $0^{m},40$ d'épaisseur, qui traverse le rocher presque normalement à sa direction et qui est remplie par des feuillets

---

(*) *Bulletin de la Société géologique*, t. XIV, 1842-43. p. 145.

(**) On the Origin of the mineral Springs of Vichy (*Quarterly Journal of the Geological Society of London*, février 1851, vol. VII).

d'aragonite, parallèles aux parois et *en tout semblables à ceux qui constituent la masse rocheuse principale.*

Suivant nous, le rocher des Célestins est en place; c'est la crête d'un véritable filon, dont le remplissage s'est opéré par des dépôts successifs, parallèles aux salbandes, comme celui de tout les filons d'incrustation. Cette hypothèse seule permet d'expliquer d'une manière satisfaisante et l'immense développement de ce dépôt suivant une ligne presque droite, et sa structure, et la disposition des cavités ou géodes qu'il présente, et enfin le fait que nous venons de rapporter en dernier lieu : il n'y a au point I qu'une cassure transversale, qui s'est produite plus tard, mais qui s'est remplie de la même manière que le filon principal. En s'écoulant à la surface de part et d'autre de la fissure béante, l'eau minérale a déposé les masses de travertin qui flanquent le rocher principal.

Au voisinage des sources actuelles, ainsi que dans la propriété Millet et le parc Lardy, c'est-à-dire sur 150 mètres de longueur, le filon est dirigé de l'O. 17° N. à l'E. 17° S. Aux points extrêmes de son affleurement, sa direction est un peu différente, mais seulement sur quelques mètres de longueur : à l'Ouest, au point S, elle est E. 9° S.; à l'Est, au point K, elle est E. 30° S.

La direction E. 17° S. se trouve être également celle du quai des Célestins et celle de l'Allier, depuis le pont de Vichy jusqu'auprès de la source Larbaud ou des Longues-Vignes, c'est-à-dire sur 1.600 mètres de longueur : la rivière, qui, en amont de ce dernier point, coule vers le N. 14° E., suivant les lignes de niveau des couches de marne lacustre, a été probablement déviée par le rempart que lui a opposé le rocher des Célestins, mis à nu suivant sa face méridionale par suite de la disparition des marnes encaissantes.

C'est ici le lieu de mentionner le dégagement de gaz carbonique et d'eau minérale que l'on observe en beaucoup

de points, au bord de l'Allier, en amont et en aval de la machine servant à la prise d'eau de la ville : le gaz sort des joints de la marne, mise à découvert quand la rivière est basse. Ces dégagements, qui se produisent sur le prolongement Est du filon des Célestins, doivent être rattachés aux sources du même nom.

Puits-Brosson ou source du Parc.

Le Puits-Brosson ou Source du Parc est situé dans un terrain contigu à l'Ancien Parc, à 200 mètres au Sud-Ouest du Puits-Carré.

Le forage, commencé en novembre 1843, atteignit en janvier 1844 la profondeur de 48 mètres; il donna alors issue à un jet d'eau minérale, qui, d'abord très abondant, diminua bientôt et finit par présenter des intermittences irrégulières.

Le Puits-Brosson n'est tubé que jusqu'à la profondeur de 24 mètres et il présente de nombreuses lanternes ou cavités étagées en chapelet (*).

Nous possédons fort peu de données sur l'histoire du régime de cette source. Nous extrayons ce qui suit d'un rapport de M. Dufrénoy en date du 21 novembre 1851.

« L'abondance plus ou moins grande du jet, dont le volume est fort irrégulier, ses intermittences plus ou moins prolongées rendent le jaugeage de cette source presque impossible; on ne saisit, en effet, aucune loi entre les temps d'écoulement et les temps morts; le plus ordinairement, il est vrai, ils sont dans la proportion de 45 : 55; cependant, à plusieurs reprises, la source Brosson a coulé 20 à 25 jours sans s'arrêter; plusieurs fois aussi elle a présenté des intervalles de repos aussi longs.

« M. François a admis dans son calcul que les intermit-

(*) Rapport de M. François, en date du 22 juin 1857.

tences étaient égales aux temps d'écoulement; dans cette supposition, il a trouvé pour le produit journalier du Puits-Brosson $44^{m^3},480$ à une température de 21 à 23°; la moyenne des expériences de M. Radoult de Lafosse l'établirait dans les mêmes conditions à 66 mètres cubes.

« On ne saurait, quant à présent, regarder ces chiffres que comme des indications sommaires; des jaugeages répétés pendant un temps très long seraient nécessaires pour établir le débit réel. »

Le 10 octobre 1853, d'après M. Bouquet, la température de cette source était de 22°,5, celle de l'air étant de 16°. Le jaillissement durait de 1 à 2 heures, puis cessait pendant un temps variable.

En 1857, la buvette du Puits-Brosson fut transférée dans son emplacement actuel, dans l'enceinte du Parc; elle est reliée par une traînasse horizontale de 20 mètres de longueur au tuyau ascensionnel du sondage. L'eau est puisée au moyen d'une pompe. Nous ne connaissons aucune observation de débit postérieure à ce nouvel aménagement. Quelque temps auparavant, le débit, d'après des jaugeages de M. Pigeon, était de 12 à 15 mètres cubes par 24 heures.

Le 22 juillet 1873, à 8 heures du matin, M. Des Cloizeaux a trouvé à la buvette une température de 19°,2, celle de l'air étant de 20°,5 (*).

Le niveau du sol où est situé le Puits-Brosson est à l'altitude de $257^m,67$. L'eau est élevée par la pompe jusqu'à 1 mètre de hauteur au-dessus du sol.

Influence du Puits-Brosson sur le Puits-Carré et la Grande-Grille. — « Dès les premiers jours du jaillissement, on a remarqué que l'ouverture du Puits-Brosson avait influé sur le produit de la source du Puits-Carré. Un travail très consciencieux de M. François établit plus tard avec la plus grande certitude la corrélation de ces deux sources.

(*) Dr Zénon Pupier, *loc. cit.*.

« Ce travail comprend des expériences nombreuses dans trois phases distinctes :

« 1° de 1844 à 1845, le Puits-Brosson étant alternativement fermé ou ouvert au gré du propriétaire ;

« 2° de 1846 à 1849, époque pendant laquelle le puits était sous les scellés ;

« 3° en 1849, après la réouverture du Puits-Brosson en vertu d'un jugement du 20 janvier 1849.

« Au commencement de la première période, en octobre et novembre 1843, M. François avait constaté, par une moyenne de plus de cent-vingt expériences, que le débit du Puits-Carré était :

	m. cub.
au robinet de jauge (à $0^m,62$ au-dessus du sol repère), de.	176,976
et à la bonde du fond (à $1^m,97$ au-dessous du sol repère), de.	205,920

« Au mois de mai, le Puits-Brosson étant ouvert depuis quatre mois, la moyenne de quatre cent quarante-six observations apprit que le débit à ces deux niveaux était descendu respectivement à $137^{m3},815$ et à 194 mètres cubes.

« La perte occasionnée par l'ouverture du Puits-Brosson était donc :

	m. cub.	
au robinet de jauge, de.	39,161	ou 22 p. 100
à la bonde de fond, de.	11,250	ou 5,5 —

« Sauf quelques changements dus à l'ouverture plus ou moins fréquente du Puits-Brosson ou à des intermittences inégales, les résultats obtenus dans l'année 1845 ont été à peu près les mêmes.

« La fermeture du Puits-Brosson, depuis le 17 janvier 1846 jusqu'en septembre 1849, avait ramené le débit du Puits-Carré à son chiffre primitif. Des expériences faites de juin 1848 à juin 1849 constatent, en effet, que le débit était, à cette époque :

	m. cub.
au robinet de jauge (à $0^m,62$ au-dessus du sol repère), de.	176.422
et à la bonde de fond (reportée à $1^m,55$ au-dessous du sol repère), de.	206,757

« Après la levée des scellés, les jaugeages des 25-29 septembre 1849 montrent que le débit de la source était retombé :

	m. cub.			
au robinet de jauge, à. .	140,640,	d'où une perte de	20	p. 100
et à la bonde de fond, à.	181,246,	id.	12 1/2	—

« En considérant le régime alternatif de jour et de nuit du Puits-Carré (fixé le jour à la cote — 0^m,10 et la nuit à la cote — 1^m,10), on trouva que le débit moyen avait diminué de 31$^{m^3}$,2.

« Enfin des observations comparées sur le régime du Puits-Brosson et du Puits-Carré, exécutées du 1er janvier au 15 avril 1850, au nombre de 898, ont donné à M. François des résultats semblables.

« Il a trouvé, en effet, pour le débit moyen aux deux niveaux :

	m. cub.	
le Puits-Brosson étant fermé. . .	179,216	
Id. id. ouvert . .	149,250	
d'où une perte de. . .	26,966	ou 16 2/3 p. 100

« Les jaugeages que j'ai faits en octobre 1851 et qui ont donné, à la bonde de fond,

	m. cub.	
le Puits-Brosson étant fermé. . .	185,154	
id. id. ouvert . .	174,666	
soit une perte de. . .	10,488	ou 5,66 p. 100

constatent, comme ceux de M. François, l'influence du Puits-Brosson sur le produit du Puits-Carré (*). »

« Lors des expériences de 1849-50, lit-on dans un rapport de M. François en date du 22 juin 1857, l'action d'une pompe aspirante sur le Puits-Brosson, une variation dans le diamètre de son orifice d'écoulement déterminaient des changements dans le régime des deux sources, à ce point

(*) Rapport de M. Dufrénoy, en date du 21 novembre 1851.

que l'action prolongée de la pompe allait jusqu'à occasionner des intermittences au Puits-Carré et y réduisait notablement le dégagement d'acide carbonique.

« Au début d'un écoulement, le Puits-Brosson donnait par minute jusqu'à 152 litres d'eau et 231 litres d'acide carbonique libre ; vers la fin de l'écoulement, il ne débitait que 31 litres d'eau et 18 décilitres de gaz.

« L'analyse chimique a montré que l'eau de ce puits n'avait pas la même composition que celle du Puits-Carré ; que cette composition, ainsi que la température, variait du commencement à la fin d'un écoulement.

« En commentant ces observations, on fut conduit à cette conclusion que le Puits-Brosson agissait sur le Puits-Carré, bien moins par détournement ou entraînement direct de l'eau que par le départ de l'acide carbonique dans la profondeur, départ dont l'effet immédiat était de rendre paresseuse l'ascension des émissaires naturels (Puits-Carré et Grande-Grille).

« Quelle est, depuis les travaux de 1853-54, l'influence du Puits-Brosson sur le Puits-Carré et sur la Grille ? Des expériences sont à faire. Toutefois, il est probable que cette influence, si elle existe encore, doit être considérablement affaiblie.

« En effet, si l'on admet que les pertes décroissent suivant une progression constante à mesure que l'on déprime le niveau d'emploi, on conclut des observations faites aux niveaux supérieurs que le Puits-Carré, dans son état présent (déprimé à la cote — $3^m,20$), ne devrait perdre, par l'influence du Puits-Brosson, que 1,5 à 3,3 p. 100, c'est-à-dire 2.800 à 6.000 litres par 24 heures. Ces chiffres nous paraissent être des limites supérieures de la perte, si réellement il y a encore perte.

« En effet, on doit à une observation attentive d'avoir reconnu que, par suite de la dépression du niveau d'émergence du Puits-Carré et de la Grande-Grille, le Puits-

Brosson a subi, depuis l'automne de 1854, une diminution progressive dans l'énergie et la continuité de son jaillissement. Les temps morts se sont multipliés et prolongés ; le débit en eau et en gaz s'est amoindri ; aussi cette source, qui accusait en 1849-50 un débit moyen de 44^{m^3},480, déjà bien inférieur à celui de 1844 (68 à 72 mètres cubes et au-delà, d'après les jaugeages du maître-sondeur), n'a donné à M. Pigeon et à moi que 18 mètres cubes en 1856. D'aprés M. Pigeon, il serait maintenant très irrégulier et ne dépasserait pas 12 à 15 mètres cubes. »

Source Lardy.

En 1844, un deuxième forage fut exécuté à Vichy, dans la propriété Lardy, à 180 mètres au Nord-Est des Anciens Célestins.

Poussé jusqu'à la profondeur de 148 mètres, il rencontra, d'après les dires du maître-sondeur, trois nappes d'eau minérale, dont la dernière donna lieu à une source jaillissante qui s'éleva tout d'abord jusqu'au sommet de la chèvre de sondage ; le débit journalier de cette source atteignait 17 mètres cubes, mais il diminua progressivement jusqu'à 7 mètres cubes. En 1855, d'après M. François, son rendement était voisin de ce dernier chiffre. Le 4 octobre 1853, la température ambiante étant de 7°,9, M. Bouquet a trouvé pour celle de l'eau 23°,6.

A une certaine époque, cette source charriait des grains de sable parfois assez volumineux.

Le trou de sonde était primitivement tubé jusqu'à une certaine profondeur avec des tubes de 0^m,15 de diamètre, autour desquels on avait coulé du ciment. En 1876, à la suite d'irrégularités constatées dans le débit de la source, le puits fut curé et tubé à nouveau jusqu'à la profondeur de 68 mètres, avec des tuyaux de 0^m,10 de diamètre. En octobre 1876, la source se troubla subitement, devint inter-

mittente et son débit diminua considérablement. On attribua ce fait à l'obstruction du trou de sonde et l'on crut pouvoir y remédier en provoquant un jaillissement énergique, que l'on détermina en coupant le tube d'ascension à 2^{m},70 en contre-bas du sol. Mais on fit tant que, le 10 novembre, le débit tomba à 1^{l} 1/2 par minute à ce niveau. Finalement, on fut obligé de curer le puits. Le tube posé en 1873 fut arraché et remplacé par un autre, qui descend jusqu'au fond du puits et dont le diamètre intérieur diminue progressivement, de bas en haut, depuis 0^{m},10 jusqu'à 0^{m},03. Celui-ci est libre à l'intérieur de la colonne de retenue en tôle; le vide annulaire restant à l'orifice de cette colonne est fermé par un tampon étanche.

Pour obtenir un écoulement continu, on a dû placer à l'orifice du tube d'ascension un *régulateur*, c'est-à-dire une bague qui réduit le diamètre à 0^{m},008 sur 0^{m},02 de hauteur.

Nous avons profité du moment où ces travaux s'exécutaient pour mesurer la température que possède l'eau minérale au fond du puits. Le 20 avril 1877, le trou de sonde n'étant encore revêtu que du tube de retenue en tôle, qui descend jusqu'à 37 mètres de profondeur, un thermomètre à maxima (thermomètre à bulle d'air de Walferdin, emprisonné dans un tube de verre fermé à la lampe, pour être soustrait à l'influence de la pression, qui fausserait ses indications), a été fixé sur la tige de sonde, non toutefois au contact du fer, dont il était isolé par un support en bois, et descendu ainsi jusqu'à la profondeur de 146 mètres, mesurée à partir du sol (le fond était à 148^{m},50). Rapporté au jour, il indiquait une température maxima de 31°,1. La température de l'eau minérale à l'orifice du tube de retenue, soit à 4 mètres en contre-bas du sol, mesurée ensuite avec le même instrument, pendant que la source jaillissait (elle était alors intermittente), était de 23°,1. Le 26 avril, le thermomètre, introduit à la profondeur de 147 mètres, indiqua une température de

30 degrés ; la température de l'eau à l'orifice du tube de retenue était alors de 23°,8.

Les deux chiffres obtenus pour la température qui règne au fond du trou sont, comme on le voit, très peu différents ; et l'on peut tenir pour certain qu'elle est très voisine de 31°. Les deux observations faites à l'orifice du tube ne sont pas aussi concordantes : c'est que la température variait légèrement en ce point ; elle augmentait naturellement un peu du commencement à la fin de chaque période de jaillissement.

D'après les renseignements que nous ont donnés les propriétaires de la source Lardy, son débit était, après les travaux exécutés en 1877, de 8 mètres cubes environ par 24 heures.

Le sol d'où elle jaillit est à l'altitude $262^m,77$ et l'orifice du tube ascensionnel est à 1 mètre au-dessus du sol.

Source de Vesse.

Le puits foré de Vesse, désigné sous le nom de Source intermittente, est situé sur la rive gauche de l'Allier, au bord de la route de Gannat, près du village de Vesse, à 1.100 mètres environ au Sud-Ouest de la source de l'Hôpital.

Le forage, exécuté en 1844, traversa d'abord quelques mètres de gravier, puis 100 mètres environ de marnes calcaires peu dures ; arrivé à la profondeur de 110 mètres, il donna lieu à un jaillissement d'eau minérale intermittent. Foré sur un diamètre de $0^m,15$, le trou de sonde fut tubé avec des tuyaux en tôle de fer de $0^m,11$ de diamètre ; à l'intérieur de cette première colonne de tubes, on en plaça une autre de $0^m,05$ de diamètre intérieur descendant jusqu'à une faible profondeur.

M. Bouquet (*) donne les renseignements ci-dessous sur l'état de cette source en 1853 :

(*) *Loc. cit.*, p. 34.

« Les jaillissements ont une durée de 6 minutes et sont annoncés par un grondement souterrain, bientôt suivi d'une violente éruption d'eau et de gaz ; la fin de l'écoulement est annoncée par des sifflements aigus causés par le dégagement des gaz, puis tout tombe au repos, et pendant 50 minutes, la source ne donne plus ni eau ni gaz. Cet intervalle de temps écoulé, le phénomène se produit de nouveau, avec les mêmes circonstances et la même durée.

« Le 30 septembre 1853, la température de cette source était de 27°,8, celle de l'air étant de 13°,5. »

En 1860, d'après le *Dictionnaire des eaux minérales* de MM. Durand-Fardel, Lebret, Lefort et Jules François (à l'article *Intermittence des sources*), la source jaillissait à peu près toutes les heures, pendant 6 à 7 minutes, en un jet de la grosseur du petit doigt, qui s'élevait jusqu'à 3 mètres; il s'écoulait pendant ces quelques minutes plus de 2.000 litres d'eau minérale.

En 1868, le sondage de Vesse, dont le débit avait singulièrement décru, fut tubé à nouveau jusqu'à la profondeur de 110 mètres, avec des tuyaux en fer de 0^m,07 de diamètre intérieur. L'orifice de la colonne de tubes est à 0^m,70 au-dessus du niveau du sol.

Actuellement, la source de Vesse jaillit à peu près trois fois et donne environ 20 mètres cubes d'eau par 24 heures. Quand l'eau, s'élevant lentement dans le tube, a commencé à déborder, elle coule d'abord tranquillement et en petite quantité; puis elle s'émulsionne peu à peu ; au bout d'un quart d'heure, c'est une gerbe d'écume d'une blancheur éclatante, qui s'élève rapidement jusqu'à 4 ou 5 mètres de hauteur et s'y maintient pendant 10 ou 12 minutes ; le jet se réduit ensuite à 0^m,60 ou 0^m,80 et dure encore 3/4 d'heure ; vers la fin surtout, on y observe des soubresauts dus au dégagement d'énormes bouffées de gaz carbonique. Dès que le jaillissement a cessé, le niveau de l'eau dans le tube s'abaisse brusquement jusqu'à 16 mètres

environ en contre-bas de l'orifice ; il se relève ensuite lentement et de moins en moins vite à mesure qu'il monte ; quand il est près d'atteindre le bord du tube, il ne gagne qu'un mètre environ par heure ; enfin l'eau déborde de nouveau et les mêmes phénomènes se reproduisent. La période entière a une durée de 6 heures 45 minutes à 9 heures 5 minutes, qui se décompose ainsi :

	h. m.		h. m.
Écoulement tranquille.	0 15	à	0 15
Jaillissement tumultueux.	0 55	à	1 5
Arrêt.	5 35	à	7 45
Total.	6 45	à	9 5

Les chiffres extrêmes de la première colonne s'observent lors des *minima* barométriques de la saison chaude, et ceux de la seconde colonne lors des *maxima* barométriques de la saison froide.

Le 31 juillet 1873, après 3 ou 4 minutes de jaillissement, M. Des Cloizeaux a constaté que l'eau minérale avait une température de 30°, celle de l'air étant de 24°,5 (*).

Le sol d'où jaillit cette source est à l'altitude de 259m,82 et l'orifice de jaillissement à 260m,52.

Source Larbaud ou des Longues-Vignes.

Le puits foré des Longues-Vignes est situé sur la rive droite de l'Allier, au bord de la route de Nîmes, à 1120 mètres à l'Est-Sud-Est des Célestins.

Commencé en avril 1853, par MM. Larbaud aîné et Mercier, il fut suspendu à la profondeur de 13 mètres par arrêté préfectoral, puis repris le 12 février 1856 ; le 8 mai suivant, la sonde fit jaillir de la profondeur de 136 mètres une source minérale très gazeuse.

Voici la série des terrains traversés :

(*) Dr Zénon-Pupier, *loc. cit.*.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR.	OBSERVATIONS.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale	0,50	0,50	
2	Marne jaunâtre délitée	5,00	5,50	
3	Marne jaunâtre	2,00	7,50	
4	Marne gris-bleuâtre	1,00	8,50	
5	Gravier	1,00	9,50	
6	Calcaire marneux gris	0,50	10,00	
7	Marne jaune	1,77	11,77	
8	Marne gris-bleuâtre	3,00	14,77	
9	Calcaire marneux bleuâtre	0,70	15,47	
10	Marne gris-bleuâtre	2,33	17,80	
11	Calcaire marneux gris	0,50	18,30	
12	Marne gris-bleuâtre	1,10	19,40	
13	Calcaire marneux blanc	0,20	19,60	
14	Marne grise	0,20	19,80	
15	Calcaire marneux gris	3,00	22,80	
16	Marne grise	0,06	22,86	
17	Calcaire marneux gris	0,20	23,06	
18	Marne verte, tachetée de blanc, compacte	1,60	24,66	
19	Marne grise	0,17	24,83	
20	Marne compacte bleu-foncé	2,00	26,83	
21	Marne bleue avec débris ligneux	1,00	27,83	
22	Marne bleu-rougeâtre	0,70	28,53	
23	Calcaire marneux gris	1,28	29,81	
24	Marne compacte bleue	2,14	31,95	
25	Marne grise, mélangée de sable	0,14	32,09	
26	Marne gris-bleuâtre	0,67	32,76	
27	Calcaire marneux gris	0,45	33,21	
28	Marne grise peu effervescente	1,45	34,66	
29	Calcaire gris, mélangé de sable, très-dur	0,05	34,71	
30	Marne gris-bleuâtre	1,42	36,13	
31	Marne verdâtre	3,00	39,13	
32	Calcaire marneux gris	0,16	39,29	
33	Marne bleue tachetée de blanc	1,20	40,49	
34	Calcaire marneux gris	0,18	40,67	
35	Marne noir-bleuâtre	0,56	41,23	
36	Calcaire marneux gris	0,28	45,51	
37	Marne noir-bleuâtre	0,83	42,34	
38	Calcaire marneux gris	0,46	42,80	
39	Marne gris-bleuâtre	0,66	43,46	
40	Calcaire marneux gris	0,27	43,73	
41	Marne gris-bleuâtre	3,90	47,63	
42	Calcaire marneux gris	0,23	47,86	
43	Marne gris-bleuâtre	1,33	49,19	(*)
44	Calcaire marneux gris-bleuâtre	0,12	49,31	
45	Marne bleue	0,76	50,07	
46	Calcaire marneux gris	0,20	50,27	
47	Sables noirs très effervescents	0,20	50,47	(**)
48	Marne gris-bleuâtre	9,14	59,61	
49	Calcaire marneux gris	0,40	60,01	
50	Marne bleue tachetée de brun	1,38	61,39	
51	Calcaire marneux gris	0,21	61,60	
52	Marne blanche	1,50	63,10	
53	Marne bigarrée de bleu et de blanc	2,60	65,70	(***)
54	Sables et graviers noirs	0,10	65,80	(****)
55	Calcaire marneux gris	0,18	65,98	

(*) Premier dégagement de gaz.
(**) Première source minérale.
(***) Dégagement de gaz très-abondant.
(****) Deuxième source minérale.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR	OBSERVATIONS.
		mètres.	mètres.	
56	Marne bleue	0,58	66,56	
57	Calcaire marneux gris	0,22	66,78	
58	Marne noire	1,15	67,93	
59	Calcaire marneux noirâtre	0,26	68,19	
60	Marne gris-bleuâtre	11,00	79,19	
61	Marne blanche	0,50	79,69	
62	Marne noire tachetée de blanc	2,40	82,09	
63	Marne blanche	2,50	84,59	
64	Marne gris-bleuâtre	11,44	96,03	
65	Marne brune	3,80	99,83	
66	Marne blanche	3,00	102,83	
67	Marne bleue tachetée de blanc	2,50	105,33	
68	Marne bleue tachetée de vert	2,10	107,43	
69	Marne blanche	2,10	109,43	
70	Marne bleue tachetée de vert	3,00	112,43	
71	Marne noirâtre	3,15	115,58	
72	Marne gris-bleuâtre	2,00	117,58	
73	Marne bigarrée de bleu et de vert	2,50	120,08	
74	Marne bleue tachetée de blanc	1,40	121,48	
75	Argile sableuse, bigarrée de vert et de rouge	0,30	121,78	
76	Marne blanche	1,20	122,98	
77	Marne verdâtre	1,60	124,58	
78	Argile sableuse grise, légèrement effervescente	1,10	125,68	
79	Sable mélangé d'argile bleue	0,60	126,28	
80	Marne bigarrée de vert et de rouge	0,65	126,93	
81	Marne rougeâtre	0,20	127,13	
82	Marne bleue	0,18	127,31	
83	Sable argileux verdâtre	0,35	127,66	
84	Argile noire mélangée de sable	0,20	127,86	
85	Argile sableuse verdâtre	2,30	130,16	
86	Argile sableuse rouge, effervescente	1,00	131,16	
87	Argile rouge	4,60	135,76	(*)
88	Sable grossier vert et blanc	1,60	137,36	(**)
89	Argile sableuse verdâtre, légèrement effervescente	0,50	137,86	

(*) Troisième source. — La température de l'eau était alors de 16° C. et le débit de 2l,5 par minute.

(**) Pendant la traversée de ces sables, la source a beaucoup augmenté, l'eau était colorée en rouge.

Une première source minérale s'est manifestée à 50m,30 et une deuxième à 65m,70 de profondeur ; chacune d'elles correspond à un lit de sable. Pendant les interruptions du forage, l'eau de ces deux sources s'élevait dans le trou de sonde et coulait faiblement à l'orifice du tube de retenue, qui descendait jusqu'à 10 mètres de profondeur. D'après un rapport de M. Pigeon, cette eau était minérale, très gazeuse et sa composition paraissait être la même que celle des autres sources de Vichy. Quant à la source prin-

cipale, son jet, d'après M. Pigeon (*), a été de prime abord très fort et mélangé de beaucoup de gaz ; puis la source s'est réglée et est devenue intermittente. A la suite de chaque arrêt, on voyait l'eau monter dans le trou avec bouillonnement de gaz, puis l'écoulement commençait et le débit, d'abord très faible, croissait de plus en plus jusqu'à un maximum à partir duquel il décroissait rapidement pour bientôt devenir nul. Le 16 mai 1856, la durée de l'écoulement était de 6^{m}1/2 et celle de l'arrêt de 4^{m}1/2. Pendant l'arrêt, l'eau ne descendait pas à plus d'un mètre en contre-bas du sol. Dans chaque période, la source donnait 47 litres, soit 6.153 litres par 24 heures.

Le 30 mars 1857, le trou de sonde n'étant qu'incomplètement tubé, la source, jaillissant à l'extrémité d'un tube de cuivre de 0^m,07 de diamètre qui s'élevait à 1^m,20 au-dessus du sol, coulait d'abord faiblement pendant 23 minutes, puis abondamment et à gros bouillons pendant 5 minutes, puis elle s'arrêtait pendant 2 minutes. Dans ces conditions, le débit était de 180 litres par période, soit de 8.640 litres par 24 heures. Par suite des défectuosités du tubage, l'eau était trouble.

En 1858, le puits fut tubé à nouveau avec des tuyaux en fonte de 0^m,08 de diamètre intérieur, qui descendent jusqu'à la profondeur de 104 mètres et autour desquels on a coulé du ciment. La source devint alors limpide.

Voici quelle était son allure en juillet 1859, d'après un rapport de M. de Gouvenain. Le jet, qui débutait par un simple bouillonnement, durait 15 à 17 minutes ; il s'élevait peu à peu jusqu'à 1 mètre de hauteur environ, puis décroissait et se terminait par quelques bouffées de gaz carbonique ; puis il y avait un temps d'arrêt d'une douzaine de minutes.

Le tuyau de fonte de 0^m,08 de diamètre intérieur, qui

(*) Lettre à M. Dufrénoy, en date du 18 mai 1856.

monte jusqu'à 1m,64 au-dessus du dallage du bâtiment où est renfermée la source, est surmonté d'un tube plus étroit, qui autrefois s'élevait jusqu'au niveau de la route, soit à 4 mètres au-dessus du sol du même dallage, dont l'altitude est de 270m,02. Le jaillissement avait lieu à l'extrémité de ce tube et l'eau retombait dans une vasque circulaire.

En 1878, on a supprimé cette vasque; le tube ne s'élève plus qu'à 2m,20 au-dessus du sol; il est surmonté d'une boule creuse de 0m,30 de diamètre portant à la partie supérieure un ajutage dont le robinet reste constamment ouvert. Le robinet d'embouteillage, implanté sur le tube en fonte, à 0m,62 au-dessus du sol, n'a pas été changé. Une conduite horizontale est branchée sur le petit tube à 2m,10 au-dessus du dallage et permet d'envoyer l'eau de la source dans un réservoir en tôle de 11 mètres cubes de capacité, en fermant le robinet d'embouteillage. Sur le tube en fonte, à 0m,15 au-dessous du sol, est branchée une autre conduite qui amène l'eau minérale, pendant la saison, à l'établissement de bains de M. Larbaud aîné, à Vichy.

Le 24 janvier 1880, nous avons mesuré le débit de la source au robinet d'embouteillage, par où elle s'écoulait librement depuis plusieurs semaines. Le jaillissement, à l'orifice de ce robinet, est régulièrement intermittent; la période a une durée totale de 19 minutes; l'écoulement dure 14 minutes et l'arrêt 5 minutes; le débit augmente progressivement jusqu'à la fin de la 12e minute, puis il diminue rapidement. Le débit total par période est de 53 litres environ, ce qui correspond à peu près à 4.000 litres par 24 heures. La température de l'eau minérale s'élève à 20°,5 vers la fin du jaillissement. Pendant ces observations, la pression barométrique était de 746mm,5.

Source de Mesdames.

Ce puits, situé à 2.200 mètres environ à l'Est de l'établissement thermal de Vichy, entre la route de Cusset et l'allée de Mesdames, a été foré en 1844 par M. Brosson.

Poussé jusqu'à la profondeur de 93 mètres à travers les marnes lacustres, il donna lieu à une source minérale, qui, d'après un procès-verbal du maire de Cusset en date du 10 octobre 1844, jaillissait sans interruption jusqu'à une hauteur de plusieurs mètres au-dessus du sol (dont l'altitude est de 267^{m},64) et donnait 22^{m3},736 par jour de 24 heures. Après la pose du tube d'ascension, qui est en fer creux et a 0^{m},05 de diamètre intérieur, le débit se fixa à 14^{m3}.400 et la température à 17°. D'après M. François (*), ces chiffres restèrent à peu près invariables jusqu'en 1854 (**), époque à laquelle fut établie une conduite en poterie pour amener l'eau de cette source à la buvette située à l'extrémité occidentale de la galerie de l'établissement thermal, à Vichy. Le tuyau ascensionnel ayant été exhaussé jusqu'à 1^{m},50 au-dessus du sol pour relier la source à l'appareil propulseur, le débit se réduisit alors à 12 mètres cubes.

Plus tard la conduite en poterie fut remplacée par une conduite en fonte de 0^{m},05 de diamètre intérieur et l'appareil propulseur fut supprimé : on exhaussa simplement le tuyau ascensionnel de 6 à 7 mètres en le laissant ouvert à l'air libre ; la conduite de la buvette s'y embranche à 0^{m},60 au-dessus du dallage, soit à 0^{m},96 au-dessus du sol, et le tuyau qui dessert l'atelier d'embouteillage (situé près de la source) à 3 mètres plus haut. Ajoutons qu'il y a une différence de niveau de 9 mètres environ entre le sol d'où jaillit la source et la vasque de la buvette. Il arrive parfois

(*) Rapport du 16 avril 1856.

(**) Le 6 octobre 1853, M. Bouquet a trouvé pour la température 16°,8.

que l'eau minérale jaillit à l'orifice du tube ascensionnel, lorsqu'il se forme dans la conduite des cantonnements de gaz mettant obstacle au mouvement de l'eau.

Le 9 septembre 1876, en jaugeant la source au moyen d'un ajutage placé au même niveau que l'origine de la conduite de la buvette, nous avons obtenu un débit moyen de $12^{l},20$ par minute, soit de $17^{m^3},500$ par jour de 24 heures. Le débit n'est pas parfaitement uniforme; il varie périodiquement, la durée de chaque période étant de 3 minutes 44 secondes; pendant 20 secondes le débit est très sensiblement au-dessous de sa valeur moyenne; il est plus abondant et à peu près uniforme pendant le reste de la période.

Source Élisabeth.

La source Élisabeth, située dans le jardin de l'établissement thermal Sainte-Marie, à Cusset, a été obtenue au moyen d'un forage exécuté du 26 novembre 1844 au 2 janvier 1845 et poussé jusqu'à la profondeur de $89^{m},93$. On a employé une première colonne de tuyaux de retenue de $0^{m},24$ de diamètre et de 6 mètres de longueur pour traverser la couche de gravier superficielle, puis une deuxième colonne de retenue de $0^{m},18$ qui descend jusqu'à 20 mètres. A partir de cette profondeur, le sondage a été continué sans tubage, sur un diamètre de $0^{m},10$, dans des marnes ou des argiles alternant avec quelques petits bancs de calcaire peu dur. L'eau minérale commença à jaillir quand la sonde eut atteint la profondeur de 83 mètres.

Le tube d'ascension en fer creux ayant été mis en place, la source jaillit à 3 mètres de hauteur au-dessus du sol, en donnant 33 litres par minute, soit $47^{m^3},520$ par 24 heures à la température de 15°C.

Quelque temps après, elle ne s'élevait plus qu'à $2^{m},50$, en débitant 25 litres par minute, soit 35 mètres cubes par jour. En 1853, d'après M. Bertrand, alors propriétaire de

l'établissement thermal Sainte-Marie, la source Élisabeth débitait 23 mètres cubes par 24 heures. Le 5 octobre 1853, M. Bouquet a trouvé 16°,8 pour la température de cette source, celle de l'air étant de 16 degrés.

Aujourd'hui elle ne monte plus qu'à quelques centimètres au-dessus de l'orifice du tuyau ascensionnel, qui a $0^m,02$ de diamètre. Elle débite 12 à 15 mètres cubes par 24 heures, suivant que la source Sainte-Marie est en activité ou en repos. L'eau retombe dans une coupe métallique d'où partent deux tuyaux allant à la buvette et au robinet d'embouteillage.

L'orifice du tuyau d'ascension est à l'altitude de $273^m,39$.

Source Sainte-Marie.

Le forage de la source Sainte-Marie, située à 100 mètres environ à l'Est de la source Elisabeth, dans un enclos dépendant de l'établissement thermal Sainte-Marie, a été commencé en février et terminé en avril 1849 ; il a traversé sur une hauteur de $5^m,70$, entre les profondeurs de $84^m,50$ et de $90^m,20$, la nappe d'eau minérale, dont le gisement est constitué par un lit de sable argileux gris. Le sondage, continué jusqu'à une profondeur de $115^m,57$, dans l'espoir de trouver de l'eau thermale, n'a pas rencontré d'autre nappe. On a relevé dans ce travail la coupe géologique ci-dessous.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR.
		mètres,	mètres.
1	Terrain de remblai	2,00	2,00
2	Terre végétale	1,20	3,20
3	Gros cailloux roulés	1,90	5,10
4	Gravier grossier	7,30	12,40
5	Marne bleue	10,90	23,30
6	Sables (nappe d'eau douce)	0,20	23,50
7	Marne bleue	3,90	27,40
8	Marne grise	10,92	38,32
9	Poudingues (?)	0,50	38,82
10	Marne grise	4,25	43,07
11	Poudingues (?)	0,30	43,37
12	Marne grise	1,30	44,67
13	Poudingues (?)	0,40	45,07
14	Marne grise	0,64	45,71
15	Poudingues (?)	0,35	46,06
16	Marne grise	1,60	47,66
17	Marne blanche	6,00	53,66
18	Marne bleue	6,00	59,66
19	Marne bigarrée de vert et de blanc	1,80	61,46
20	Marne bigarrée de blanc et de bleu	9,15	70,61
21	Marne bleue	8,00	78,61
22	Marne bigarrée de blanc et de bleu	2,00	80,61
23	Marne bleue	0,50	81,11
24	Sable noir	0,20	81,31
25	Poudingues (?)	0,25	81,56
26	Marne verte sableuse	0,60	82,16
27	Plaquettes calcaires	0,20	82,36
28	Marne grise	1,60	83,96
29	Poudingues (?)	0,15	84,11
30	Marne grise	0,40	84,51
31	Sables gris argileux (source minérale jaillissante)	5,70	90,21
32	Marne verte sableuse	1,40	91,61
33	Marne bleue sableuse	2,40	94,01
34	Marne grise sableuse	1,40	95,41
35	Marne blanche	3,15	98,56
36	Marne verte	0,30	98,86
37	Poudingues (?)	0,25	99,11
38	Marne verte	0,40	99,51
39	Marne verte sableuse	4,90	104,41
40	Marne verte	1,40	105,81
41	Marne verte sableuse	1,30	107,11
42	Marne bleue compacte	1,15	108,26
43	Marne verte	0,40	108,66
44	Marne bleue	0,30	108,96
45	Poudingues (?)	0,37	109,33
46	Marne verte	0,70	110,03
47	Marne verte sableuse	1,20	111,23
48	Argile rouge compacte	0,60	111,83
49	Marne verte	1,34	113,17
50	Poudingues (?)	0,25	113,42
51	Argile verte	2,15	115,57

En 1853, d'après M. Bertrand, la source Sainte-Marie jaillissait d'un jet continu et débitait 27 à 28 mètres cubes, par 24 heures. Le 5 octobre 1853, M. Bouquet a trouvé 16°,8 pour sa température, celle de l'air étant de 16 degré .

Le 9 octobre 1877, d'après nos observations, la source Élisabeth donnait à 9 heures du matin $13^l,293$ par minute et à 4 heures du soir $12^l,154$ à la température de 16°,5. La source Sainte-Marie, dont on détermina le jaillissement le même jour, à 9 heures et demie du matin, à l'aide d'une petite pompe, raccordée par un tube amovible en caoutchouc avec le tuyau ascensionnel, continua à couler spontanément jusqu'au lendemain 10 octobre, à 4 heures du soir. Le 9, à 10 heures et demie du matin, elle donnait $9^l,175$ par minute, et à 3 heures et demie du soir, $7^l,049$ à la température de 15°,5.

Pour la source Sainte-Marie, le deuxième jaugeage peut être considéré comme donnant le débit moyen : au commencement du jaillissement, le jet est plus abondant; il diminue progressivement vers la fin. Quant à la source Élisabeth, la différence entre les deux chiffres obtenus tient probablement à ce qu'il y a soutirage partiel de son débit au profit de la source Sainte-Marie, dès que celle-ci commence à jaillir. En résumé, les chiffres qui paraissent représenter le mieux le débit moyen de l'ensemble de ces deux sources sont ceux qu'a donnés le deuxième jaugeage, soit $17^{m^3},502$ par 24 heures pour Élisabeth et $10^{m^3},015$ pour Sainte-Marie. Ajoutons que pendant ces expériences, la pression barométrique s'est maintenue invariable au chiffre de 738 millimètres (au niveau des sources).

L'orifice du tuyau d'ascension de la source Sainte-Marie est à l'altitude de $273^m,71$. Dans le tube principal qui a $0^m,03$ de diamètre, on en a introduit un autre qui n'a que $0^m,021$ et qui descend jusqu'à 1 mètre de profondeur.

Source Tracy.

La source Tracy, située au centre de la rotonde du cours Tracy, à Cusset, consiste en un puits foré, qui a été commencé le 27 février 1845 et terminé le 24 avril suivant. La sonde a d'abord traversé les fondations d'une ancienne ci-

tadelle, rasée 25 ans auparavant, ce qui a présenté d'assez grandes difficultés et fait perdre beaucoup de temps. Le sondage a une profondeur de 116 mètres. Nous ne savons rien de la nature des terrains traversés, si ce n'est qu'on a trouvé le sable à 86 mètres, qu'on est entré dans les argiles rouges à 104 mètres et qu'on s'est arrêté dans ces mêmes argiles. D'après un rapport du maire de Cusset, « on a été obligé de s'arrêter à cause des difficultés éprouvées pour sortir les instruments et de la compacité et dureté de l'argile rouge » On a employé deux colonnes de retenue: la première a $0^m,18$ de diamètre et descend jusqu'à $18^m,38$; la deuxième, dont le diamètre n'est pas connu, descend jusqu'à $24^m,20$ de profondeur.

Après la mise en place du tuyau d'ascension en fer creux, qui avait $0^m,035$ de diamètre à sa partie inférieure et $0^m,02$ à sa partie supérieure et dont les divers tronçons étaient reliés entre eux par des manchons à vis, l'eau minérale s'éleva à 2 mètres au-dessus du sol.

Au bout de deux ans, cette source cessa de jaillir. Après avoir coupé, à $0^m,80$ au-dessus du fond du puisard entourant le trou de sonde, soit à $1^m,80$ au-dessous du dallage du kiosque abritant la source, le tuyau d'ascension, qui a en ce point $0^m,03$ de diamètre intérieur, on le surmonta d'un tuyau plus large, sur lequel fut installée une pompe aspirante: un clapet de retenue destiné à empêcher la pompe de se désamorcer est placé à la jonction des deux tuyaux.

En novembre 1866, M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain, après avoir fait enlever la pompe, a constaté que le trou de sonde était obstrué à partir de la profondeur de $79^m,50$ et que le niveau de l'eau se tenait invariablement à $1^m,18$ de l'orifice du tuyau ascensionnel, soit à $2^m,78$ en contre-bas du sol du cours Tracy.

En novembre 1879, on a reconnu que le niveau de l'eau se tenait à $0^m,40$ de l'orifice du tube, que le puits était

engorgé à partir de la profondeur de 78^{m},80 et que la sonde rapportait à son extrémité des parcelles de marne.

Le sol voisin de la source Tracy est à l'altitude de 276^{m},66.

Source Saint-Jean.

La source Saint-Jean a été obtenue au moyen d'un forage exécuté dans la cour de l'abattoir de Cusset, du 3 juin au 1er juillet 1844, et poussé jusqu'à la profondeur de 93^{m},50. Il paraît que l'on a employé dans ce travail un coffrage en bois de 0^{m},40 de diamètre et de 3 mètres de longueur pour passer la couche de galets superficielle, puis une colonne de retenue en tôle de 0^{m},12 de diamètre et de 13 mètres de longueur et que le trou de sonde a été continué ensuite sans tubage. On y a placé une colonne d'ascension ayant 13 mètres de longueur et un diamètre de 0^{m},03, sauf sur 2 mètres de longueur, dans sa partie supérieure, où elle n'avait que 0^{m},02.

A l'origine, la source Saint-Jean jaillissait d'un jet continu jusqu'à 1 mètre au-dessus du sol et donnait 30 litres par minute, soit 43^{m3},200 par 24 heures, à la température de 15 degrés. Au bout de deux ou trois ans, elle avait cessé de jaillir. Aujourd'hui elle ne fait que baver à l'orifice de son tuyau ascensionnel, recoupé à 1^{m},25 au-dessous du sol. L'eau minérale se déverse dans une citerne de 2^{m},35 de profondeur qui entoure le trou de sonde et où on la puise au moyen d'une pompe aspirante adossée au bâtiment de l'abattoir. En novembre 1866, M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain a constaté que le trou de sonde était obstrué à partir de la profondeur de 62^{m},52 et que l'eau ne pouvait s'élever à plus de 1^{m},54 au-dessus du sol dans un tuyau vertical adapté sur le tuyau d'ascension. En novembre 1879, on a constaté que le puits était engorgé à partir de la profondeur de 62 mètres et que la sonde rapportait à son extrémité des parcelles de marne.

Il est probable que cette source, ainsi que la source Tracy, est alimentée aujourd'hui, non plus par la nappe principale rencontrée à la profondeur de 85 à 90 mètres, mais bien par une ou plusieurs nappes moins importantes, situées à des profondeurs moindres et qui ne s'étaient pas manifestées ou ne s'étaient manifestées que faiblement lors du forage des puits.

Le sol voisin de la source Saint-Jean est à l'altitude de 276m,15.

Source Lafayette.

La source Lafayette provient d'un sondage exécuté en 1878, au milieu du cours Lafayette, à Cusset, pour le compte de la Ville, sous la direction de M. Ronfet, conducteur des ponts et chaussées. Ce travail, poussé jusqu'à la profondeur de 111m,60, a permis de relever la coupe géologique ci-dessous.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR.
		mètres.	mètres.
1	Remblai	5,35	5,35
2	Gravier	1,89	7,24
3	Argile verdâtre	0,91	8,15
4	Argile jaune	0,10	8,25
5	Calcaire marneux	0,86	9,11
6	Marne gris-bleuâtre	3.19	12,30
7	Calcaire dur	0,50	12,80
8	Marne verte	1,21	14,01
9	Calcaire	0,16	14,17
10	Marne verte	1,66	15,83
11	Calcaire	0,44	16,27
12	Marne sableuse verdâtre	4,76	21,03
13	Marne grise avec grumeaux calcaires	1,44	22,47
14	Marne verte veinée de noir	1,25	23,72
15	Marne grise	2,44	26,16
16	Calcaire	0,22	26,38
17	Marne verdâtre	1,22	27,60
18	Calcaire	0,43	28,03
19	Marne verdâtre	2,06	30,09
20	Calcaire	0,13	30,22
21	Marne grise sableuse (premier dégagement de gaz)	0,45	30,67
22	Calcaire	0,23	30,90
23	Marne grise sableuse (dégagement de gaz abondant et ascension de l'eau minérale dans le tube de retenue jusqu'à 3m,55 en contre-bas du sol)	2,35	33,25

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR.
		mètres.	mètres.
24	Calcaire	0,21	33,46
25	Marne grise	0,57	34,03
26	Calcaire	0,19	34,22
27	Marne grise	0,65	34,87
28	Calcaire	0,22	35,09
29	Marne gris-bleuâtre	6,86	41,95
30	Calcaire	0,21	42,16
31	Marne gris-bleuâtre	0,87	43,03
32	Calcaire	0,18	43,21
33	Marne noirâtre	1,38	44,59
34	Marne sableuse (eau minérale)	0,42	45,01
35	Marne grise	0,80	45,81
36	Calcaire	0,20	46,01
37	Marne grise	1,47	47,48
38	Calcaire	0,17	47,65
39	Marne noirâtre	3,48	51,13
40	Marne gris-bleuâtre	2,98	54,11
41	Calcaire	0,39	54 50
42	Marne gris-bleuâtre	3,11	57,61
43	Calcaire	0,15	57,76
44	Marne verdâtre	1,21	58,97
45	Sable noir	0,39	59,36
46	Marne gris-bleuâtre	4,49	63,85
47	Marne grise	6,10	69,95
48	Marne bigarrée de bleu et de blanc	0,64	70,59
49	Calcaire	0,14	70,73
50	Marne gris-bleuâtre	3,50	74,23
51	Calcaire	0,16	74,39
52	Marne gris-bleuâtre	2.00	76,39
53	Calcaire	0,12	76,51
54	Marne verdâtre sableuse	3,52	80,03
55	Calcaire	0,13	80,16
56	Marne gris-bleuâtre	2,05	82,21
57	Marne bleue avec des débris de porphyre rouge	2,12	84,33
58	Grès	0,11	84,44
59	Argile rouge	2,09	86,53
60	Argile grise sableuse	1,49	88,02
61	Argile rouge	1,86	89,88
62	Grès siliceux	0,13	90,01
63	Argile rouge	3,07	93,08
64	Grès siliceux	0,32	93,40
65	Argile rouge	1,10	94,50
66	Grès siliceux	0,30	94,80
67	Argile rouge	1,87	96,67
68	Grès siliceux	0,17	96,84
69	Argile rouge	1,99	98,83
70	Grès siliceux	0,16	98,99
71	Argile rouge	3,59	102,58
72	Grès siliceux très dur	9,02	111,60

Un premier tube de retenue en tôle, de $0^m,26$ de diamètre, fut enfoncé jusqu'à la profondeur de $9^m,20$ pour permettre de traverser les galets. Ce tube est recoupé à $2^m,60$ au-dessous du sol, soit à $0^m,40$ au-dessus du fond du puisard.

Comme on avait presque la certitude de rencontrer la grande nappe atteinte, vers la profondeur de 90 mètres, par tous les forages exécutés antérieurement à Cusset, on n'attacha d'abord aucune importance aux deux petites nappes (nos 23 et 34) rencontrées aux profondeurs de 30m,90 et de 44m,59. Le sondage fut poussé jusqu'à 65m,27, sur un diamètre de 0m,25, puis on mit en place un tube de retenue en tôle descendant jusqu'à ce niveau et l'on coula du mortier de ciment autour de ce tube, de sorte que ces deux nappes ne communiquaient plus avec le trou de sonde. On reprit ensuite le forage sur un diamètre de 0m,12 et on le continua jusqu'à 111m,60, mais sans succès. A partir de 88m,02, la sonde était entrée dans les argiles rouges alternant avec quelques plaquettes de grès, argiles signalées partout ailleurs comme se trouvant au-dessous de la nappe d'eau minérale. On dut supposer que la couche de sable plus ou moins argileux constituant le gisement de cette nappe était représentée sur ce point par une marne ou une argile trop peu sableuse pour livrer passage à l'eau minérale.

On arracha alors le tube de 0m,12, ce qui ne présenta pas grande difficulté, attendu que le ciment n'avait fait prise que sur une faible hauteur à partir de l'orifice du sondage. Ce même tube de 0m,12, percé de trous dans sa partie inférieure sur une hauteur de 15 mètres, fut introduit de nouveau, jusqu'à la profondeur de 45 mètres seulement, et le trou fut remblayé jusqu'à ce niveau. Ce tube qui a été recoupé à 1m,50 en contre-bas du sol, porte à la profondeur de 20 mètres une perruque en chanvre, sur laquelle on a coulé du mortier de ciment.

Un premier tuyau d'ascension en fer creux, à section diminuée, ayant 0m,04 de diamètre intérieur au gros bout et 0m,027 au petit bout, fut introduit jusqu'à la profondeur de 40m,20; son orifice est à 0m,20 au-dessous du sol; l'espace annulaire compris entre ce tuyau et le tube de

$0^m,12$ est fermé au moyen d'une perruque en chanvre placée à $1^m,50$ de l'orifice de ce dernier et sur laquelle on a coulé du ciment.

L'eau minérale bouillonnait dans ce tuyau d'ascension, mais elle ne s'élevait pas spontanément jusqu'à son orifice; toutefois, en faisant agir sur ce tuyau une petite pompe, au moyen d'un raccord en caoutchouc, on déterminait la formation d'une émulsion de gaz et d'eau de plus en plus légère, qui s'écoulait par la pompe et qui continuait à jaillir avec une certaine force, pendant quelques minutes, lorsque ensuite on enlevait le tube en caoutchouc.

On a réussi à obtenir un jaillissement continu au moyen d'un deuxième tuyau d'ascension de $0^m,012$ de diamètre placé à l'intérieur du premier. Ce tuyau descend jusqu'à la profondeur de $20^m,20$; il se termine vers le haut par une partie recourbée en forme de siphon, dont l'orifice est à $1^m,03$ et le point le plus haut à $1^m,14$ au-dessus du sol. Pour fermer l'orifice du tube de $0^m,027$, on y a vissé un manchon qui est assemblé, au moyen d'un joint à brides, avec un autre manchon que porte le tube de $0^m,012$.

Le 24 janvier 1880, la source débitait dans ces conditions $2^{lit.},45$ par minute, soit $3^{m^3},528$ par 24 heures, à la température de $14^\circ,5$, la pression barométrique étant de 747 millimètres.

Le sol voisin de la source Lafayette est à l'altitude de $276^m,88$.

Source d'Hauterive.

Il paraît avoir existé de tout temps, près d'Hauterive, sur la rive gauche de l'Allier, à 5 ou 6 kilomètres au sud de Vichy, des sources minérales gazeuses froides. Deux d'entre elles, comme on l'a vu plus haut (p. 504), étaient déjà employées en 1778. Elles étaient situées à quelques mètres au Nord du point où l'on a plus tard exécuté le sondage. Vers 1840, elles étaient l'objet d'une exploitation restreinte,

employées en boisson par quelques habitants de la localité et appliquées à la fabrication du bicarbonate de soude.

En 1842, M. Brosson fit quelques travaux, tant pour rechercher l'une de ces deux sources, qui avait disparu et qui s'était dérobée, supposait-il, sous les sables alluviens de l'Allier, que pour les garantir toutes deux contre les inondations de la rivière, qui les submergeait parfois. Une excavation de 15 mètres de diamètre fut creusée autour de ces deux sources. Après avoir traversé, sur une épaisseur de 1m,50 à 2 mètres, les alluvions sableuses de l'Allier, on trouva une masse d'argile blanche délayée par l'eau minérale et de tous les points de laquelle se dégageaient des bulles de gaz; un grand nombre de sondages effectués dans cette masse boueuse montrèrent qu'elle remplissait une sorte d'entonnoir (*) creusé dans les marnes argileuses lacustres, et qui se prolongeait en profondeur par un conduit vertical d'environ 1m,50 de diamètre, par où arrivait vraisemblablement l'eau minérale. Ce conduit fut sondé jusqu'à la profondeur de 35 mètres. On fonda sur les marnes, à 8 mètres de profondeur, un massif de béton, dans lequel furent ménagés des tuyaux d'ascension pour l'eau minérale. Quelque temps après, ces travaux furent abandonnés parce que l'eau minérale persistait à être chargée d'une grande quantité de boue argileuse blanche.

En 1844, d'après Boulanger (**), on connaissait encore deux autres sources naturelles; l'une d'elles, située un peu au Sud des précédentes et renfermée dans un puits muraillé, contenait par litre 2g,806 de sels; l'autre, qui sourdait plus à l'Est, près des bords de l'Allier, et que l'on peut voir encore aujourd'hui, au point A (Pl. IX, *fig.* 1), en contenait 4g,215.

(*) Cette argile blanche a été vraisemblablement déposée par la source elle-même à une époque ancienne.

(**) *Statistique géologique et minéralogique de l'Allier*, p. 405.

Le puits foré d'Hauterive, situé à 4.800 mètres au Sud des Célestins, fut exécuté par M. Brosson à la fin de 1842. De 1843 à 1845, son débit journalier était de $86^{m^3},400$ d'eau à la température de 14°,5. Comme l'eau entraînait encore un peu d'argile en suspension, on en diminua la force de jaillissement en lui faisant parcourir, au sortir du tuyau ascensionnel, une traînasse sinueuse, de 15 mètres de longueur, aboutissant à l'atelier d'embouteillage : le débit fut ainsi réduit à 52 mètres cubes.

En septembre 1854, toujours pour remédier à un léger défaut de limpidité de l'eau minérale, M. François fit adapter sur l'orifice du tuyau ascensionnel une boîte de captage, munie d'un robinet régulateur permettant de modérer le jaillissement.

Avant la pose de cette boîte, la source, jaugée au niveau du sol, à l'orifice du tube d'ascension, a donné $72^{l},46$ par minute, soit $104^{m^3},340$ par 24 heures. Le 19 mars 1856, dans son état d'emploi et comprimée, elle a donné, à 1 mètre environ au-dessus du sol, $40^{l},53$ par minute, soit $58^{m^3},370$ par 24 heures.

Le 2 mars 1874, M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain a trouvé, aux robinets d'embouteillage, un débit de $32^{l},6$ par minute, soit de 47 mètres cubes par 24 heures.

A partir du 1er avril 1873, il se manifesta dans le jaillissement de la source, à des intervalles irréguliers, des arrêts dont la durée atteignait 15 à 20 heures. Attribuant cet état de choses à la détérioration du tubage du puits, on résolut de le renouveler. Ce travail fut exécuté en 1876.

Le tube ayant été arraché, on reconnut qu'en effet il avait été entièrement rongé à partir de la profondeur de 12 mètres, à laquelle s'arrêtait la chemise de ciment qui l'enveloppait : il n'en restait que quelques lambeaux appatenant au voisinage de la ligne de rivure, où les tôles étaient doubles, ou bien aux frettes d'assemblage.

Le forage ayant été repris et poussé jusqu'à la profondeur de 97 mètres, on a pu relever approximativement la coupe géologique ci-dessous.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR.	PROFONDEUR.
		mètres.	mètres.
1	Terre végétale	1,00	1,00
2	Gravier (alluvions de l'Allier)	4,20	5,20
3	Sable fin	6,70	11,90
4	Argile	1,00	12,90
5	Grès résistant	0,35	13,25
6	Marne grise feuilletée	11.75	25,00
7	Sable mélangé d'argile (couche perméable constituant le gisement de la nappe d'eau minérale)	2,00	27,00
8	Argile rouge, sableuse, mouvante	8,00	35,00
9	Argile rouge, ou bigarrée de rouge et de vert, avec grains et galets de quartz	45,00	80,00
10	Jaspe et argile siliceuse compacte	5,00	85,00
11	Schistes carbonifères avec veines de quartz	»	»

Il n'existe, semble-t-il, qu'une seule nappe d'eau minérale, qui circule dans une couche de sable quartzeux mélangé d'argile blanche, de 2 mètres d'épaisseur, à la profondeur de 25-27 mètres.

Le tuyau ascensionnel (Pl. X, *fig.* 7), qui a $0^m,10$ de diamètre et dont l'orifice est à $0^m,50$ en contre-bas du sol, a $27^m,87$ de longueur (en 4 tronçons assemblés par des manchons à vis) ; il descend donc jusqu'à la profondeur de $28^m,37$. Dans sa partie inférieure, depuis la profondeur de $19^m,50$ jusqu'à celle de $26^m,10$, il est percé de trous de $0^m,006$ de diamètre, au nombre de 1100, qui représentent ensemble une section de $3^{\text{décim. q.}},08$, presque quadruple de celle du tuyau lui-même.

On avait d'abord songé, pour arrêter le ciment qu'il s'agissait de couler autour du tube afin de réaliser le captage de la source, à employer, comme on le fait habituellement, une *perruque* de chanvre fixée sur le tuyau au-dessus de la partie lanternée. Mais on devait présumer que le trou s'était considérablement élargi, par suite d'éboulements constatés, à partir du seul banc solide ren-

contré à la profondeur de 13 mètres. La perruque aurait donc dû être placée vers cette profondeur de 13 mètres, au risque de ne pas remplir tout l'espace annulaire et de laisser passer le ciment : la moitié supérieure du tube aurait seule été enveloppée de ciment ; un vide énorme aurait subsisté au-dessous de ce niveau. Dans de telles conditions, le bon fonctionnement du puits n'eût été nullement assuré ; de nouveaux éboulements se seraient nécessairement produits de temps en temps, obstruant les trous du tuyau ascensionnel et troublant l'eau minérale ; il était même à craindre que la source n'eût une allure encore plus irrégulière que celle à laquelle on s'était proposé de remédier.

Il nous sembla que l'on éviterait tous ces inconvénients en coulant simplement du gravier autour du tube, pour remblayer, jusqu'à une faible hauteur au-dessus de la partie lanternée, tous les vides existants et créer ainsi une base sur laquelle le ciment s'arrêterait à coup sûr, en même temps qu'un filtre destiné à clarifier l'eau minérale. A cet effet, l'on employa du gravier de l'Allier, débarrassé par criblage du sable fin, qui aurait passé à travers les trous de la lanterne, et des gros galets qui n'auraient pu entrer dans l'espace annulaire, large de $0^m,02$, restant entre le tuyau ascensionnel et le tube de retenue. Il n'en fallut pas moins de 9 mètres cubes pour combler les vides depuis la profondeur de 26 mètres jusqu'à celle de 19 mètres. La coulée du ciment s'exécuta ensuite sans difficulté.

La source prit alors un régime régulièrement intermittent. Le tuyau ascensionnel de $0^m,10$ de diamètre restant librement ouvert, à $0^m,50$ en contre-bas du sol, elle jaillissait 4 fois par 24 heures (de 6 heures en 6 heures), pendant 2 heures chaque fois.

Le tuyau ayant été ensuite raccordé avec la conduite aboutissant à l'atelier d'embouteillage, l'eau s'éleva lentement jusqu'au niveau des robinets, et, à partir du 16 sep-

tembre 1876, elle reprit l'allure régulière qu'elle avait autrefois et donna 40 mètres cubes par 24 heures (jaugeage exécuté le 1[er] novembre 1876 par M. Moissenet).

Toutefois, le 5 février 1877, elle s'arrêta une première fois et ce fait se reproduisit une vingtaine de fois, à des époques de plus en plus rapprochées, jusqu'à la fin de septembre de la même année. Nous avons étudié cette question dans un rapport en date du 5 octobre 1877, d'où nous extrayons ce qui suit :

« Nous avons constaté que les arrêts de la source se sont produits à des époques de hausse barométrique. Presque toujours, on voit le jaillissement cesser au moment où la pression atmosphérique, à la suite d'une baisse sensible, se relève rapidement, phénomène qui d'ailleurs coïncide généralement, comme on sait, avec une diminution de température.

« L'accroissement de la pression extérieure, d'une part, et, d'autre part, le refroidissement de la portion du tuyau de conduite située à une faible profondeur au-dessous du sol ou même à l'air libre, lequel a pour effet d'augmenter la densité du liquide, tendent naturellement à diminuer le débit de la source.

« Il y a plus : on a affaire ici non pas à un véritable liquide, mais à un fluide plus léger, de nature mixte, sorte d'émulsion d'eau et de gaz carbonique, qui se forme surtout dans le trajet du tuyau ascensionnel, le gaz se dégageant abondamment de sa dissolution, par suite de l'agitation du fluide et de la rapide diminution de pression qui a lieu de la base à l'orifice du tube. Or la hausse du baromètre et la baisse du thermomètre concourent à entraver la production de cette émulsion : celle-ci ne se forme plus qu'à un moindre degré ; la colonne mousseuse qui remplit le tuyau d'ascension devient plus lourde ; ce qui est une nouvelle cause d'arrêt ou du moins de ralentissement du jet de la source.

« Enfin tout porte à croire qu'au voisinage du trou de sonde, au niveau de la nappe aquifère, l'action érosive de l'eau minérale en mouvement a déterminé des affouillements, des éboulements dans les marnes superposées et la formation de cloches souterraines, qui se remplissent de gaz carbonique. La pression augmentant à la base du tuyau ascensionnel, par les causes que nous venons de mentionner, ce gaz confiné se comprime et l'espace qu'il abandonne est rempli par de l'eau, qui est *prélevée* sur le débit de la nappe alimentaire.

« Ainsi, en résumé, quand le baromètre monte et surtout quand ce phénomène est accompagné d'un refroidissement, cet accroissement de pression, très amplifié, se transmet jusqu'à la base du tuyau ascensionnel. Il peut arriver alors que le débit de la nappe, amoindri par cette cause, ne suffise plus à alimenter le jet de la source et en même temps à remplir l'espace qu'abandonne, en se comprimant, le gaz confiné dans les cloches : dès lors, la source cesse de jaillir.

« Le fluide redevenant immobile dans le tuyau ascensionnel, l'émulsion est remplacée par de l'eau, traversée seulement par quelques bulles de gaz : la densité se trouvant ainsi brusquement augmentée, le niveau s'abaisse jusqu'à 2 ou 3 mètres en contre-bas de l'orifice. Ce niveau se relève ensuite très lentement, l'eau que débite la nappe étant toujours absorbée par les cloches souterraines, où le gaz se comprime nécessairement de plus en plus et même rentre en dissolution au fur et à mesure qu'augmente la hauteur de la colonne d'eau contenue dans le tube. Après 8, 10 ou même 20 heures, l'eau atteint de nouveau l'orifice de jaillissement et recommence à couler doucement ; mais au bout de quelques minutes, l'agitation même du liquide engendre de nouveau l'émulsion légère dont nous avons parlé, la pression qui règne à la base du tube subit une brusque diminution et le jet reprend toute sa force. Cette

chute de pression se transmettant dans l'étendue de la nappe jusqu'à une certaine distance du puits, le gaz se dégage abondamment de sa dissolution, reprend la place de l'eau dans les cloches souterraines, ainsi que dans les interstices de cette espèce d'éponge qui constitue le lit de la nappe d'eau minérale, et tout se retrouve dans le même état qu'avant l'interruption du jaillissement de la source.

« Le volume des vides souterrains produits par l'action érosive de l'eau minérale en mouvement va toujours en augmentant ; c'est pourquoi les interruptions de la source deviennent de plus en plus fréquentes et prolongées.

« On doit admettre qu'après les travaux exécutés en 1876, le nouveau tubage ayant un plus grand diamètre que l'ancien, le débit de la source, un peu plus abondant qu'auparavant, était très voisin de la limite qu'il pouvait atteindre tout en restant continu. Quelques mois après, les vides s'étant agrandis, cette limite a été atteinte. Si l'on augmentait, si peu que ce soit, la section des orifices d'écoulement, on verrait certainement la source devenir régulièrement intermittente. »

Pour empêcher la source de subir de nouveaux arrêts, nous avons conseillé de fermer totalement ou partiellement l'un des deux orifices de jaillissement. On a fermé entièrement l'un des deux robinets ; depuis lors aucune interruption n'a été observée.

Le sol d'où jaillit la source d'Hauterive est à l'altitude 261^{m},46 ; l'orifice d'écoulement est de 0^{m},85 en contre-haut. Le sol n'est qu'à 2^{m}.20 au-dessus de l'étiage de l'Allier ; lors de la crue de septembre 1875, il a été submergé sous 3^{m},30 d'eau.

Sources de Saint-Yorre.

Sur la rive droite de l'Allier, à 6$^{kil.}$,5 au Sud de Vichy, à 200 mètres environ au Nord du village de Saint-Yorre, près

et à l'Ouest de la route de Nîmes, on a connu de tout temps de petites sources d'eau minérale gazeuse, qui sourdent en bouillonnant dans un terrain bas, marécageux, situé presque au niveau de la rivière. Le champ des Boulets, où elles sont situées, en a tiré son nom. Aux époques de sécheresse, les petites mares alimentées par ces sources semblent tarir, mais il suffit d'enlever la croûte boueuse superficielle pour retrouver l'eau minérale à une faible profondeur.

En 1853, on observait deux sources, aux points A et M (Pl. X, *fig.* 8), la première dite *source du bas* et la deuxième *source du haut.* C'est à ces deux sources qu'a été puisée, en novembre 1853, l'eau sur laquelle ont été faites les analyses contenues dans le rapport de M. O. Henry, rapport adopté par l'Académie de médecine dans sa séance du 24 avril 1855, et à la suite duquel fut accordée l'autorisation d'exploiter les sources de Saint-Yorre. Dans ce document, M. O. Henry annonçait que les deux sources débitaient ensemble au moins 10 mètres cubes par jour.

A la fin de 1853, MM. Badoche dégagèrent la source du bas A, en faisant une fouille autour des griffons. L'eau qui affluait dans cette fouille était minérale et l'on y distinguait sept ou huit jets de gaz. Mais, à défaut de pompes, on tenta vainement de faire baisser le niveau pour procéder au captage.

MM. Badoche firent alors autour de la source du haut M une fouille de 4 mètres de profondeur environ, au fond de laquelle fut renversé un tonneau surmonté d'un tube en tôle ; du béton fut battu autour du tonneau et un petit bassin garni de terre glaise fut ménagé autour de l'orifice du tube.

En septembre 1857, M. Nicolas Larbaud, pharmacien à Vichy, devenu fermier de ces sources, entreprit des travaux plus importants.

Sur la source du haut, une large fouille, dont les parois

étaient maintenues par des boisages, fut poussée jusqu'à la profondeur de 8 mètres ; deux pompes Letestu étaient nécessaires pour l'épuisement, rendu plus difficile par des pluies abondantes. Cette fouille traversa 6 mètres de terre argileuse, y compris la terre végétale, puis elle entra dans un lit de sable de 2 mètres d'épaisseur, d'où affluait l'eau minérale et qui reposait lui-même sur un banc de calcaire marneux résistant. On construisit deux tours concentriques en maçonnerie, dont l'une (la plus petite) fut fondée sur le calcaire ; des ouvertures y furent ménagées vers la base pour laisser accès à l'eau minérale. Avant la fin du travail et par l'effet de l'épuisement, un affaissement assez considérable eut lieu au point B et l'eau gazeuse s'y fraya une issue : un affouillement s'était produit en ce point dans la couche aquifère, sous l'action de l'eau en mouvement, qui entraînait uue grande quantité de sable. La construction terminée, l'eau minérale, bien limpide, s'éleva dans le puits jusqu'à un niveau situé à 2 mètres en contre-bas du sol.

On attaqua ensuite la source du bas. Une fouille de 6 mètres de diamètre, limitée par une enceinte de pieux, pénétra dans le sable, après avoir traversé une terre argileuse, à la profondeur de 2 mètres à $2^{m},50$. Elle fut arrêtée à la profondeur de 6 mètres, avant d'avoir atteint le banc solide. Une tour d'un mètre environ de diamètre intérieur fut construite autour du point où l'eau bouillonnait le plus fort. L'eau s'y éleva jusqu'au niveau du sol. Une pompe aspirante y fut placée ; mais elle donnait, paraît-il, de l'eau d'une minéralisation variable et qui tenait en suspension de la vase et du sable.

On remarqua que le niveau de l'eau s'abaissait à la source du haut quand celle du bas, qui en était distante de plus de 60 mètres, était soumise à un épuisement prolongé.

En novembre 1857, ces deux puits furent comblés et M. Larbaud commença des recherches dans un terrain

contigu, situé à l'Ouest du champ des Boulets, c'est-à-dire du côté de l'Allier. Après avoir exploré le sous-sol au moyen d'une petite tranchée partant de la source A et poussée sur 20 mètres de longueur jusqu'au point C, où se manifesta un jet vertical d'eau minérale, on ouvrit autour de ce point une fosse de 6 mètres de diamètre environ, qui fut poussée jusqu'à 5 mètres de profondeur et sur le pourtour de laquelle on établit une enceinte de béton. Au centre de cette enceinte, on pratiqua un puits, qui descendit jusqu'à 7 mètres au-dessous du sol et sur le fond duquel fut placée une cloche en cuivre surmontée d'un tuyau vertical en poterie, consolidé par une chemise en tôle; du béton fut appliqué autour de la cuve et l'eau minérale s'éleva dans le tube jusqu'à $0^m,60$ ou $0^m,70$ au-dessus du sol. Quelques mois après, en 1858, on arracha le tubage et on le remplaça par une colonne formée de deux tuyaux en tôle concentriques, l'un de $0^m,15$ et l'autre de $0^m,08$ de diamètre, entre lesquels fut coulé du ciment. Cette colonne descendait jusqu'à 13 mètres de profondeur : elle pénétrait donc d'une certaine quantité dans le banc calcaire, qui se trouvait désagrégé ou perforé sur ce point. Le résultat de ce travail fut mauvais, car le niveau de l'eau s'abaissa jusqu'au sol; le tube descendait probablement trop bas et l'eau de la nappe superposée au banc calcaire n'y pénétrait plus que difficilement.

Le 26 décembre 1859, d'après un rapport de M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain, cette source ne faisait que baver au bord du tube d'ascension, qui s'élevait à $0^m,15$ au-dessus du sol; son eau, d'une transparence un peu douteuse, avait une saveur à la fois piquante, alcaline et ferrugineuse; sa température était alors de 11° C.

Dans l'hiver de 1857-58, M. Larbaud capta un deuxième griffon reconnu par la tranchée, au point D, à 20 mètres environ au Nord-Ouest du point C. Après avoir déblayé la terre jusqu'à $2^m,50$ de profondeur, on enfonça dans le sable, à coups de massue, un tuyau en tôle de $0^m,35$ de

diamètre, tandis que l'on draguait à l'intérieur au moyen d'un appareil à soupape; on descendit ainsi jusqu'à la profondeur de 7 mètres; un second tube de 0^m,25 de diamètre fut placé à l'intérieur du premier et du ciment fut coulé entre les deux tuyaux. L'eau s'éleva dans cette colonne jusqu'à 0^m,80 au-dessus du sol. Une vasque fut établie à ce niveau pour la recevoir et des robinets furent implantés sur le tube pour l'embouteillage. Le 26 décembre 1859, « la température de cette source était de 11°,25; son débit était bien supérieur à celui de la précédente; son eau était éminemment gazeuse, fort limpide et paraissait très minéralisée (*). »

Dans l'hiver de 1858-59, M. Larbaud fit exécuter au point E, un peu au Sud de la source C, un sondage, qui fut poussé jusqu'à la profondeur de 33 mètres, à travers des couches alternantes de marne ou de calcaire marneux, d'argile et de sable. L'eau minérale a été trouvée dans les lits sableux à trois niveaux différents, savoir : à 2^m,50 (c'est cette nappe qui alimente les deux autres sources; elle paraît régner depuis la profondeur de 2^m,50 jusqu'à celle de 7 à 8 mètres), à 19 mètres et à 33 mètres au-dessous du niveau du sol. Le trou de sonde ayant été tubé jusqu'au fond, l'eau qui en jaillit provient de ce dernier niveau; elle s'élève jusqu'à 0^m,90 au-dessus de terre et est reçue dans une vasque.

Le 26 décembre 1859, « elle était d'une limpidité parfaite, beaucoup plus abondante que celle des deux sources C et D, mais paraissant moins chargée de gaz carbonique et de sels minéraux; sa température était de 11°,5 C, celle de l'air étant de 6° ».

En 1861, d'après un rapport d'expertise (**), des suin-

(*) Rapport de M. l'Ingénieur en chef de Gouvenain, en date du 30 décembre 1859.

(**) Rapport de MM. Aubergier, Tournaire et Berthollet, experts désignés par le tribunal de Cusset, en date du 29 décembre 1861.

tements assez nombreux, provenant sans doute de la première nappe traversée, s'observaient au pied de la vasque.

Selon M. Larbaud, le débit aux robinets était de $2^{m3},800$ par 24 heures pour la source D et de 6 à 7 mètres cubes pour la source E.

Le 5 août 1862, M. de Gouvenain retrouva la source C dans le même état qu'en décembre 1859. L'eau en était légèrement opaline et tenait en suspension principalement du peroxyde de fer. Sa force alcaline équivalait à $6^{g},755$ de bicarbonate de soude par litre.

Quant à la source D, la vasque en avait été enlevée; l'eau bouillonnait encore dans le tube, qui avait été coupé à $0^{m},20$ au-dessus du sol; mais son niveau se tenait à 1 mètre ou $1^{m},50$ en contre-bas de la surface. D'après M. Larbaud, cet abaissement de niveau ne s'observait qu'aux époques de sécheresse. L'eau de cette source était d'une transparence un peu douteuse; sa force alcaline correspondait à $6^{g},916$ de bicarbonate de soude.

Enfin la source E jaillissait toujours dans les mêmes conditions; sa température était de 16°,5 C et son débit de 3 litres par minute, soit de $4^{m3},320$ par jour; mais sa force alcaline n'équivalait qu'à $5^{g},936$ de bicarbonate de soude par litre.

Le 9 novembre 1862, les eaux de l'Allier étant assez hautes, la source D ne s'était relevée que jusqu'au niveau du sol. Quelque temps auparavant, M. Larbaud avait fait creuser autour du tuyau ascensionnel de la source C un bassin de $1^{m},22$ de profondeur, et le tube avait été coupé un peu au-dessus du fond du bassin; le 9 novembre, le bassin était presque plein d'eau et le débit de la source ne put être mesuré.

Depuis cette époque, la source C a été abandonnée et a disparu, et la source D a été l'objet d'un nouveau captage, exécuté en 1870. Un puits a été creusé sur l'emplacement de cette source, jusqu'à la profondeur de 8 mètres, à laquelle

on a trouvé un griffon d'eau minérale sortant d'une fissure du banc calcaire. Ce griffon a été recouvert d'une cloche en fer surmontée d'un tube vertical, qui débouche au centre d'une vasque, à 0m,80 au-dessus du sol. Un ajutage placé sur ce tube, à 0m,70 au-dessous du sol, permet, en outre, à l'eau minérale de se déverser dans deux conduites cylindriques en pierre de Volvic, qui l'amènent aux robinets d'embouteillage. Cette source est intermittente; elle jaillit en moyenne trois fois par heure pendant 3 à 4 minutes chaque fois. La source E se présente dans les mêmes conditions qu'autrefois.

Le 23 février 1878, d'après nos observations, la température de chacune de ces sources était de 14°,5 C.

Au moment où nous sommes arrivé sur les lieux, la source E jaillissait dans la vasque, à l'extrémité de son tuyau ascensionnel, située à 0m,70 au-dessus du sol et noyée sous une hauteur d'eau de 0m,15. Pour pouvoir faire le jaugeage, nous avons ouvert le robinet qui sert à l'embouteillage et qui s'embranche sur le tube d'ascension à 0m,50 au-dessus du sol; ce robinet ne coulant pas à gueule-bée, la niveau de l'eau dans le tube s'est donc abaissé de 0m,35. Un premier jaugeage, effectué presque immédiatemment, a donné 1lit.,88 par minute; mais moins d'un quart d'heure après, le débit s'est élevé à 1lit.,95 par minute et s'est maintenu ensuite à ce chiffre pendant toute la durée des observations; c'est donc 2m³,808 que la source débite en 24 heures dans ces conditions. Lors de ces observations, la pression barométrique était de 746 millimètres.

Quant à la source D, nous l'avons vue jaillir :

		minutes			minutes
une première fois pendant.		. 3	puis s'arrêter pendant.		. 17
une deuxième fois	id.	. . 2 1/2	id.	id.	. . 13 3/4
une troisième fois	id.	. . 3 1/4	id.	id.	. . 17 1/2
une quatrième fois	id.	. . 3	id.	id.	. . 14 1/4

La durée totale de la période varie donc de 16 à 21 minutes et la durée du jaillissement de 2^m 1/2 à 3^m 1/4.

Le jet de la source atteint assez rapidement 2 mètres ; c'est une gerbe écumeuse d'où se détachent des gouttelettes qui sont projetées jusqu'à 3 ou 4 mètres de hauteur ; le jet augmente un peu jusqu'à la fin de la première minute ; au bout de la deuxième minute, ou même plus tôt, il commence à diminuer notablement ; bientôt la source ne jaillit plus que par saccades, à une faible hauteur. Il n'est pas possible de mesurer la profondeur à laquelle le niveau de l'eau, à la fin du jaillissement, retombe dans le tube, parce que celui-ci est coudé au niveau du sol.

Ajoutons que le sol d'où jaillissent les deux sources D et E est à l'altitude 261^m,80, soit à 3^m,10 au-dessus de l'étiage de l'Allier ; lors de la crue de septembre 1875, il a été submergé sous 2^m,80 d'eau (*).

Source naturelle de Brugheas.

Avant de clore la liste des sources minérales du bassin de Vichy, il ne nous reste à mentionner que la source naturelle de Brugheas, située dans un petit vallon, à 100 mètres environ à l'Est du point où le chemin de Brugheas à Vichy franchit le Sermon (ruisseau), soit à 5^k,5 au Sud-Ouest de cette dernière localité. D'après M. Bouquet, qui l'a analysée en 1854, un litre d'eau de cette source ne donne que 1^g,104 de résidu fixe, consistant surtout en carbonate de soude. Elle n'est pas utilisée. Non loin du point où elle sourd, on voit affleurer, sous les terrains de

(*) En 1865, M. Larbaud a fait exécuter dans la partie haute de sa propriété, au point S, qui est à 8 mètres en contre-haut du sol d'où jaillissent les sources D et E, un sondage qui a été poussé jusqu'à la profondeur de 115 mètres, mais qui, probablement à cause de la trop grande altitude de son orifice, n'a donné lieu à aucune source jaillissante.

transport du plateau, les marnes lacustres en lits horizontaux.

Origine des eaux. — Causes des différences que l'on observe dans leur minéralisation, dans les proportions relatives de leurs principes minéralisateurs et dans leur thermalité.

Tout porte à croire que les eaux thermales et, en particulier, celles qui nous occupent ici s'élèvent, en suivant les cassures de l'écorce terrestre, des entrailles mêmes du globe, d'où elles se dégagent à l'état de vapeurs, pour se condenser ensuite en se refroidissant, à mesure qu'elles se rapprochent de la surface. Quelques-unes de ces cassures traversent la croûte solide dans toute son épaisseur, ou communiquent au moins avec l'atmosphère par un certain nombre de cheminées naturelles ; une partie des eaux qui y circulent s'élève directement jusqu'au jour : ces eaux sont celles qui conservent le mieux leur chaleur initiale ; elles donnent lieu aux sources thermales proprement dites, telles que le Puits-Carré, la Grande-Grille, Lucas, l'Hôpital, qui sont d'autant plus chaudes que le cours d'eau ascensionnel a un plus grand débit et qu'il est en contact par une moindre surface avec les roches encaissantes, c'est-à-dire que son lit souterrain, si l'on peut s'exprimer ainsi, ressemble davantage à une cheminée unique, cylindrique et verticale. D'autres cassures, ne communiquant pas directement avec l'atmosphère, déversent leurs eaux dans les couches perméables de la formation lacustre ; on doit admettre, en outre, que les cours d'eau ascensionnels qui alimentent les sources thermales sont en partie dérivés à la traversée de ces mêmes assises, comme il arrive pour certaines rivières, aux points où elles rencontrent des affleurements de couches perméables absorbantes : ainsi se forment des nappes sensiblement horizontales ; dès que l'on y enfonce la sonde, à travers

les assises de marne et d'argile superposées, l'eau minérale s'élève dans le forage ; émulsionnée, transformée en une écume légère par le gaz carbonique qui se dégage partiellement de sa dissolution, elle jaillit à la surface : on obtient ainsi les sources artificielles, telles que les sources du Parc, Lardy, de Mesdames, Sainte-Marie, Elisabeth, d'Hauterive, etc., dont la température varie surtout avec le débit, avec la distance du trou de sonde aux centres d'émission d'eau chaude où la nappe s'alimente, enfin avec les conditions dans lesquelles se trouve cette nappe elle-même au point de vue du refroidissement, c'est-à-dire avec sa profondeur au-dessous du sol, l'activité de sa circulation, etc.

Ces propositions générales sont presque évidentes ; mais on éprouve de grandes difficultés, lorsque l'on cherche à connaître avec précision les accidents géologiques auxquels les sources doivent spécialement leur existence.

Murchison, dans un mémoire déjà cité plus haut (p. 535), a émis l'opinion que les principales sources naturelles — les Célestins, l'Hôpital, la Grande-Grille et le Puits-Carré — sourdent d'une même fracture rectiligne dirigée du S.-S.-E. au N.-N.-O., c'est-à-dire parallèlement à la dépression où coule l'Allier et qui correspondrait elle-même à une cassure, parallèlement aussi au grand axe de la chaîne du Forez : cette fracture se serait produite à l'époque de l'apparition des domites, des trachytes et des premiers basaltes.

La donnée fondamentale de cette théorie est le fait de l'accident que présentent « les assises calcaires du rocher des Célestins, que l'on voit passer brusquement de l'horizontalité à la verticalité, le contact s'effectuant suivant un plan vertical *dirigé du S.-S.-E. au N.-N.-O.* »

M. l'Ingénieur en chef Baudin, dans un rapport présenté, en 1859, sur le projet d'attribution d'un périmètre de protection aux sources de Vichy, a fait remarquer qne

l'observation rapportée par Murchison était erronée et que la direction de la « faille » des Célestins était de l'E.-S.-E. à l'O.-N.-O., comme celle du quai de la rivière en cet endroit, et laissait bien loin au N.-E. les sources de l'Hôpital, de la Grande-Grille et du Puits-Carré. « Ainsi, ajoutait M. Baudin, se trouvent infirmées toutes les déductions tirées du fait de la coïncidence admise par le géologue anglais..... Nous demeurons en présence de cette seule donnée, que les sources de Vichy sourdent au travers d'un dépôt tertiaire, sensiblement incliné de l'Est à l'Ouest et comprenant comme membres intégrants un certain nombre d'assises sableuses, où peuvent s'épandre, où s'épandent même assurément, d'après le succès des divers sondages exécutés, les eaux minérales venues des profondeurs du sol *par des cassures dont le nombre, l'âge géologique et la direction nous sont encore inconnus.* »

Nous ne pouvons nous-même rien affirmer d'une façon absolue en réponse aux questions que posait ainsi M. Baudin; toutefois nous croyons devoir consigner ici les idées que nous ont suggérées les observations faites par nous aux environs de Vichy et de Cusset.

On l'a vu plus haut, les dépôts lacustres de cette région prouvent, par leurs caractères, qu'elle a été, depuis le commencement de l'époque miocène, le théâtre de phénomènes geysériens très importants. On est donc naturellement porté à admettre, avec Boulanger (*), que les sources minérales actuelles ne sont qu'un dernier effort de cette activité geysérienne, aujourd'hui presque anéantie. Nous allons montrer que cette opinion est d'ailleurs confirmée par un grand nombre de coïncidences très remarquables.

Rappelons d'abord que le rocher des Célestins, comme nous l'avons établi plus haut, est la crête d'un véritable filon dirigé de l'O. 17° N. à l'E. 17° S. (voir ci-dessus p. 536).

(*) *Statistique géologique et minéralogique de l'Allier*, p. 213.

La source du Puits-Carré, qui a montré de tout temps une tendance à s'étaler en nappe verticale suivant une ligne N.-O. — S.-E., la Grande-Grille, la source Prunelle, le Puits-Lucas, les anciennes sources Lucas et des Acacias sont situées sur une même droite à peu près parallèle au rocher des Célestins.

Près de la source de l'Hôpital, on retrouve un dépôt filonien analogue à celui des Célestins; dans les feuillets de ce travertin, dans le mode de groupement des sources parasites, on observe encore la même direction.

La ligne d'affleurement du filon des Célestins, prolongée, passe précisément par le point culminant de la butte de Beaudechet, lequel paraît avoir été le principal centre des émanations geysériennes auxquelles est due la puissante formation d'arkose décrite plus haut (p. 495).

Au pied de cette butte, sur la rive gauche du Sichon, en face du moulin de Ribière, la même ligne est amorcée par un filon de quartz associé avec un peu de galène, de la chaux fluatée et de la baryte sulfatée (*).

Au delà de ce point, elle coïncide a peu près avec l'étroite crevasse au fond de laquelle coule le Sichon, sur une longueur de plus de 2.500 mètres.

Plus loin encore, à un kilomètre en aval de l'Ardoisière, elle marque l'affleurement d'un filon vertical de quartz saccharoïde, moucheté de manganèse, qui a 0^{m},60 d'épaisseur et traverse les schistes et les poudingues carbonifères, dont les couches sont elles-mêmes verticales, mais dirigées vers l'E. 4° N.

Enfin, elle passe par le château du Mont-Peyroux, qui est bâti sur l'un des quatre gisements de basalte connus dans la région.

Prolongée vers l'O.-N.-O., la même ligne passe par les petites sources thermales (bicarbonatées sodiques) de

(*) Ce filon a été signalé par Boulanger (*Statistique géologique*, etc., p. 76).

Jenzat, situées sur le bord occidental du bassin lacustre de la Limagne, et par les carrières de gypse de Naves (gypse associé aux marnes lacustres).

Près de la maillerie du Capitan, sur la rive droite du Sichon, en face des carrières d'arkose de Beaudechet, on voit un filon vertical intercalé dans les schistes carbonifères, non loin de leur contact avec le porphyre ; ce filon a $1^m,50$ à 2 mètres de puissance ; son remplissage se compose principalement de barytine, en cristaux tabulaires d'un blanc laiteux, et de fluorine jaune de miel, en cubes qui ont parfois jusqu'à 3 centimètres d'arête. Les salbandes du filon sont tapissées de quartz ou de jaspe renfermant quelques mouches de pyrite; le schiste encaissant est devenu blanc, tendre et savonneux ; on y voit courir, parallèlement au filon principal, de petites veines de quartz englobant des cristaux cubiques de fluorine.

Eu égard à la connexité bien connue qui existe généralement entre les filons de cette nature et les arkoses de divers âges (*), nous pensons, bien que nous n'ayons pu

(*) En ce qui concerne les arkoses triasiques, cette connexité a été trop souvent mentionnée pour que nous ayons besoin d'y insister. Le passage suivant de l'*Explication de la carte géologique de France* (Dufrénoy et Élie de Beaumont, 3e vol., p. 53) établit qu'elle s'observe également pour les arkoses miocènes :

« Le grès inférieur du terrain tertiaire moyen existe au Puy-Corent (à trois lieues au nord d'Issoire). Il est plus solide que celui de Montaigu, surtout dans le voisinage de la source gazeuse dite *Eaux du tambour*. Ses grains sont quartzeux; ils sont reliés par un ciment calcaire qui devient bientôt dominant, de sorte que le grès passe à un calcaire compacte, noir, bitumineux .... Le grès est traversé par un filon de brèche siliceuse très dure, à ciment de quartz agathe grossier. Ce filon contient, en outre, une grande quantité d'aragonite fibreuse, du bitume solide et d'assez beaux cristaux de baryte sulfatée. La présence de la baryte a valu au grès du Tambour le nom d'arkose. Ce grès forme continuité avec celui qu'on trouve au pied du puy de Montpeyroux. Ce dernier, très feldspathique, a tous les caractères de l'arkose.

« Le calcaire bitumineux est pénétré, comme le grès, par de petits filons qui contiennent du bitume, de la baryte sulfatée et du

le constater *de visu*, que ceux des moulins de Ribière et du Capitan se poursuivent jusque dans les assises d'arkose dont les escarpements dominent ces deux points et qu'ils ont précisément livré passage aux éléments de ce dépôt. La direction du filon du Capitan diffère, il est vrai, de 13 degrés d'avec celle du rocher des Célestins, mais il est probable qu'au point où nous l'avons observé, étant à l'état de filon-couche dans les schistes carbonifères, il a une direction d'emprunt, qui s'écarte un peu de sa direction normale.

Boulanger a encore signalé (*) un troisième filon de même nature, qui traverse le porphyre près du moulin des Couteliers, un peu en amont de Cusset. Malgré de minutieuses recherches, nous n'avons pu le découvrir. Nous avons observé seulement, sur le chemin de Barentan audit moulin, une veine peu importante de quartz imprégné d'hématite, qui traverse le porphyre et qui correspond peut-être à un étranglement de ce filon ; nous avons remarqué près ce point, de chaque côté du Sichon, au-dessus du porphyre, des traces d'arkose ayant appartenu à un dépôt plus important, qui était probablement le produit de son activité geysérienne.

On ne peut s'empêcher d'établir un rapprochement entre la présence de la fluorine dans ces divers filons et la richesse en fluor des eaux minérales de Vichy (**).

---

fer sulfuré. Au-dessus, on observe des couches de calcaire siliceux très épaisses, plus haut encore, des calcaires compactes ou schisteux; vers le milieu de la colline, on exploite du gypse disséminé en veinules et en petits filets au milieu des marnes. Enfin le Puy-Corent est couronné de basalte. »

Ainsi, au Puy-Corent, comme à Vichy, il y a connexité de position et probablement d'origine entre les arkoses, les filons quartzo-barytiques avec aragonite, pyrite, etc., le basalte et les eaux minérales.

(*) *Statistique géologique et minéralogique de l'Allier*, p. 364.

(**) L'eau de la Grande-Grille contient $0^{gr},0076$ de fluor par litre (*Recherches sur la composition chimique des eaux thermo-minérales de Vichy*, etc., par M. de Gouvenain, *Annales des mines*, 1873, 7e série, t. III, p. 39).

Mentionnons enfin les nombreux joints verticaux dirigés de l'Ouest à l'Est, que l'on voit dans les carrières de porphyre des Grivats, et qui sont tapissés d'oxyde de fer, ou renferment parfois de minces veines de pyrite et de barytine.

Interprétant ces observations, voici comment nous concevons l'origine des eaux thermales de Vichy.

A l'époque du soulèvement des Pyrénées, après le dépôt du terrain nummulitique, des cassures orientées E. 17° S., parallèlement à la direction de ce soulèvement, se sont produites dans l'écorce terrestre et ont livré passage aux eaux minérales qui ont apporté au jour la plupart des éléments des dépôts lacustres des vallées de l'Allier et de la Loire. Ces phénomènes geysériens se sont produits spécialement dans le voisinage de Vichy, du Vernet, de Cusset, d'Hauterive, et s'y sont prolongés jusqu'à nos jours avec une intensité décroissante et des variations dans la nature des dépôts. Parmi les cassures qui en étaient le siège, les unes, comme celle qui passe près du moulin des Couteliers, ont été en grande partie recouvertes et masquées par les sédiments et ne se manifestent plus aujourd'hui par aucune émanation extérieure, mais elles continuent vraisemblablement à alimenter les nappes souterraines d'eau minérale; les autres, comme celles des Célestins, de l'Hôpital et du Puits-Carré, sont restées en communication avec l'atmosphère et ont conservé une partie de leur activité geysérienne, grâce aux secousses qui ont continué à agiter de temps en temps l'écorce terrestre et qui ont déterminé, dans les assises lacustres, des fentes, naturellement situées dans le prolongement des anciennes cassures.

Lors de l'apparition des basaltes, vers la fin de l'époque miocène, celle de ces cassures qui paraît avoir joué autrefois le rôle le plus important, celle des Célestins et de Beaudechet, s'est ouverte en grand au Mont-Peyroux pour livrer passage à la roche éruptive. D'après M. François, du basalte

aurait encore été injecté, sans toutefois arriver jusqu'à la surface, dans la cassure d'où sort la source Lucas. « En mai 1844, lit-on dans son rapport du 16 avril 1856, lors de l'approfondissement de l'ancien Puits-Lucas, on mit à découvert dans les marnes concrétionnées, à la profondeur de 7^{m},20, une portion de la cheminée de la source, portion assez large et formant une sorte de poche, qui renfermait des sables et des galets arrondis de basalte, de quartz et de feldspath. Les débris de quartz et de feldspath étaient entièrement semblables à ceux que l'on trouve dans les conglomérats (arkoses) situés à la base du terrain lacustre. La source, qui avait au fond du puits une force de jaillissement très sensible, nous en apportait sans cesse. Deux faits importants résultent de là : d'une part, les conglomérats (arkoses) existent au sous-sol de Vichy (*); d'autre part, les débris de basalte, qui font entièrement défaut dans ces conglomérats et dans les sables de la formation lacustre, ne peuvent provenir que de dykes existant en profondeur, sans affleurer au jour. »

Mentionnons encore une coïncidence très curieuse, qui confirmerait que les mêmes cassures, orientées E. 17° S., ont livré passage au basalte à la fin de l'époque miocène et livrent encore aujourd'hui passage aux sources minérales : les sources thermales des environs de Roanne, nous l'avons dit en commençant, sont comme le pendant de celles de Vichy ; or celle de Saint-Alban, comme celles des Célestins, se trouve exactement sur la ligne E. 17° S. qui passe par le gisement de basalte du Mont-Peyroux ; les deux droites

(*) On pourrait supposer aussi qu'aujourd'hui, comme à l'époque où se formaient les arkoses, les grains de quartz et de feldspath apportés par la source sont arrachés au porphyre sous-jacent, kaolinisé au voisinage des fentes où circule l'eau minérale. Ce fait a été observé d'une façon très nette à la source de Bourbon-l'Archambault, qui sort directement du gneiss, suivant un filon quartzo-barytique N.-O.—S.-E. en corrélation avec les arkoses triasiques du voisinage.

qui joignent respectivement les affleurements basaltiques de Saulzat et de Montaiguet aux sources de Renaison et de Sail-lès-Chateaumorand ont absolument la même direction.

Les sources que nous avons spécialement décrites plus haut proviennent toutes, suivant nous, à l'exception de celles d'Hauterive, de Saint-Yorre et de Brugheas, soit des quatre grandes cassures parallèles que nous avons mentionnées, soit des nappes souterraines sensiblement horizontales qu'elles alimentent. Les sources naturelles se trouvent, d'ailleurs, aux points les plus bas des affleurements de ces cassures, c'est-à-dire près de leur intersection avec le thalweg de la vallée de l'Allier.

A la cassure des Célestins se rattachent les sources naturelles du même nom et au moins deux nappes, qui alimentent, l'une les puits forés Lardy et des Longues-Vignes, l'autre celui de Vesse (d'après la plongée des couches lacustres, qui est de quelques degrés vers l'O.-N.-O., il est probable que celle-ci est le prolongement de l'une des deux nappes rencontrées par le puits des Longues-Vignes à $50^{m},30$ et à $65^{m},70$ de profondeur).

A celle de l'Hôpital appartiennent la grande source de ce nom et les petites sources parasites qui l'avoisinent.

Celle sur laquelle sont situés le Puits-Carré, la Grande-Grille, la source Prunelle et la source Lucas entretient, en outre, la nappe d'où jaillit la source forée du Parc.

Enfin les sources de Cusset, à l'exception de celle du cours Lafayette, et la source de Mesdames puisent à une même nappe horizontale alimentée par la cassure du moulin des Couteliers. Quant à la source Lafayette, elle provient de deux nappes moins importantes et moins profondes, mais qui ont la même origine.

A Saint-Yorre, il existe au moins trois nappes, minéralisées à des degrés divers et qui sont respectivement à $2^{m},50$, à 19 mètres et à 33 mètres de profondeur. A Hauterive, il n'y a qu'une seule nappe, à la profondeur de 25-27 mètres.

Eu égard à la richesse des eaux de Saint-Yorre et d'Hauterive en éléments minéraux et en acide carbonique, richesse égale ou supérieure à celle des sources de Vichy mêmes, il est impossible de concevoir qu'elles proviennent des centres d'émission désignés plus haut. La cassure des Célestins, en effet, la plus méridionale des quatre, est à 3.600 mètres au moins de chacune de ces deux localités. Sur un aussi long parcours, l'eau minérale perdrait nécessairement une grande partie de son gaz, qui s'échapperait à travers les fissures et les pores du terrain; de plus, se mélangeant aux eaux douces qui elles-mêmes affluent assez abondamment dans les couches sableuses, soit à travers les assises superposées, qui ne sauraient être absolument imperméables, soit par les affleurements, elle subirait un appauvrissement considérable dans sa minéralisation. Nous sommes donc obligé d'admettre l'existence d'une ou plusieurs fissures, probablement parallèles aux précédentes, et traversant la vallée de l'Allier, non loin d'Hauterive et de Saint-Yorre. Nous pouvons presque affirmer que l'une de ces cassures passe tout près des sources naturelles d'Hauterive; car du moment qu'il n'existe dans cette localité qu'une seule nappe d'eau minérale, située à 26 mètres de profondeur, sous des couches d'argile et de marne, le gaz et l'eau de cette nappe ne peuvent arriver spontanément à la surface que grâce à une dislocation de ces assises imperméables. Cet accident paraît être une faille, dont la lèvre Sud aurait été relevée et qui, sur la rive droite de l'Allier, marquerait l'entrée du profond ravin des Faits : dès que l'on a traversé ce ravin en venant de Vichy par la route nationale, on voit apparaître le terrain de transition, qui, un peu plus loin, disparaît de nouveau sous les dépôts lacustres. La source naturelle de Brugheas, qui semble jaillir, à travers les marnes, d'une nappe située à une assez grande profondeur, correspond peut-être à un accident de même nature, situé un peu au Sud du précédent. L'existence d'un faisceau de cassures

dans cette région est d'autant plus vraisemblable que l'on trouve près de là, sur la rive gauche de l'Allier, en face du village de Saint-Yorre, l'épanchement balsatique de la Poivrière. Quant aux sources naturelles de Saint-Yorre, on a vu plus haut qu'elles sont situées sur l'affleurement même d'une nappe d'eau minérale : leur existence s'explique donc de la manière la plus simple, sans qu'il soit besoin de faire intervenir sur ce point même aucun accident géologique.

Nous allons montrer que toutes ces déductions, tirées de l'étude du gisement des sources, sont confirmées par l'examen des différences que l'on observe entre elles sous le rapport de la composition chimique et de la thermalité.

Nous avons rassemblé, dans le tableau ci-contre, les résultats des analyses exécutées en 1854 par M. Bouquet : ces chiffres, obtenus tous par le même opérateur et à l'aide des mêmes procédés, sont parfaitement comparables entre eux. Nous avons cru devoir réunir en un seul total, d'une part, les bases alcalino-terreuses (chaux, strontiane et magnésie) et, d'autre part, les alcalis (potasse et soude), afin d'écarter encore plus complètement les erreurs qui peuvent être dues à l'imperfection des méthodes de séparation de ces éléments. Nous avons joint à ces données les observations de température et de débit correspondantes.

A part le fer et l'acide phosphorique, dont la proportion varie d'une manière très capricieuse, les proportions des divers éléments dissous dans l'eau minérale présentent des variations assez faibles et qu'il est facile de s'expliquer.

Examinons d'abord les différences qui existent entre les sources d'un même groupe.

Parmi les sources du premier groupe, c'est la source artificielle du Parc qui est la plus minéralisée ; tous les chiffres du tableau ci-dessus relatifs à cette source sont plus élevés que ceux qui se rapportent au Puits-Carré, si ce n'est la teneur en silice, exception qui tient probablement

DÉSIGNATION des groupes.	DÉSIGNATION des sources.	RÉSIDU fixe.	CO^2	SO^3	HCl	PhO^5	AsO^5	BoO^3	SiO^3	KO, NaO	CaO, MgO, StO	FeO	MnO	MATIÈRES bitumineuses.	TEMPÉRATURE.	DÉBIT par 24 heures.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.		gr.	gr.	gr.	gr.			deg. cent.	mèt. cub.
Groupe du Puits-Carré.	Puits-Carré . . .	5,160	4,418	0,164	0,334	0,015	0,001	traces	0,068	2,641	0,273	0,002	traces	traces	44,7	200,000
	Puits-Chomel . .	5,248	4,429	0,164	0,334	0,038	0,001	id.	0,070	2,728	0,276	0,002	id.	id.	44,0	»
	Grande-Grille. .	5,208	4,418	0,164	0,334	0,070	0,001	id.	0,070	2,670	0,268	0,002	id.	id.	41,8	96,200
	Lucas.	5,204	5,348	0,164	0,324	0,038	0,001	id.	0,050	2,647	0,303	0,002	id.	id.	29,2	86,400
	Source du Parc.	5,280	5,071	0,177	0,344	0,076	0 001	id.	0,055	2,651	0,310	0,002	id.	id.	22,5	44,480
Hôpital.	L'Hôpital.	5,264	4,719	0,164	0,324	0,025	0,001	id.	0,050	2,728	0,289	0,002	id.	id.	30,8	52,400
Groupe des Célestins.	Célestins.	5.320	4,705	0,164	0,334	0,050	0,001	id.	0,060	2,723	0,288	0,002	id.	id.	14,3	0,500
	Lardy.	5.456	5,499	0,177	0,334	0,044	0,002	id.	0,065	2,753	0,375	0,013	id.	id.	23,6	7,000
	Vesse.	4,408	4,831	0,137	0,318	0,088	0,001	id.	0,041	2,027	0,290	0,002	id.	id.	27,8	»
Groupe de Cusset.	L'Abattoir	5,480	5,376	0,164	0,334	traces	0,002	id.	0,032	2,673	0,455	0,018	id.	id.	»	»
	Élisabeth.	5,160	5,489	0,192	0,293	id.	0,002	id.	0,034	2.528	0,424	0,010	id.	id.	16,8	23,000
	Sainte-Marie. . .	5.092	5,329	0,192	0,283	id.	0,002	id.	0,025	2,477	0,407	0,024	id.	id.	16,8	27,000
	Mesdames	4,420	5,029	0,141	0,222	id.	0,002	id.	0,032	2,055	0,373	0,012	id.	id.	16,8	14,400
Hauterive.	Hauterive	4,960	5,640	0,164	0,334	0,025	0,001	id.	0,071	2,466	0,330	0,008	id.	id.	14,6	54.000
Saint-Yorre.	Saint-Yorre. . .	5,120	4,957	0,153	0,324	traces	0,001	id.	0,052	2,530	0,356	0,005	id.	id.	12,3	»

à ce que l'eau minérale, plus refroidie à la source du Parc qu'au Puits-Carré, abandonne conséquemment, dans son trajet souterrain, une plus grande partie de la silice qu'elle tenait en dissolution. Ainsi donc, l'eau prélevée sur le débit des sources naturelles et qui se répand dans la couche arénacée située à 40 mètres de profondeur pour aller alimenter, à 200 mètres de son point de départ, le puits foré du Parc, est, en somme, moins diluée par des infiltrations d'eau douce, dans son trajet souterrain, que celle qui poursuit son cours ascensionnel et vient sourdre au Puits-Carré, à la Grande-Grille, etc. Cela se conçoit, du reste : c'est surtout au voisinage de la surface, et particulièrement, à Vichy, jusqu'à 8 à 10 mètres de profondeur, qu'abondent les eaux douces ; or un trou de sonde est parfaitement isolé par son tubage de ces eaux superficielles ; il n'en est pas de même d'un conduit naturel : les incrustations dont il se tapisse ne le garantissent pas aussi bien, car elles sont loin d'être absolument imperméables, et d'ailleurs elles ne se produisent un peu abondamment que jusqu'à une faible profondeur (*).

L'eau du Puits-Lucas, bien qu'elle soit notablement plus chaude que celle du Puits-Brosson, contient encore un peu moins de silice ; mais on peut la considérer comme étant plus étendue d'eau douce que celle du Parc ; elle contient toutefois plus d'acide carbonique dissous.

Les sources du premier groupe présentent des différences assez sensibles dans leurs teneurs en acide carbonique et en terres alcalines ; les variations sont du même ordre et dans le même sens pour l'acide carbonique, d'une part, et, d'autre part pour l'ensemble de ces bases. Ce fait paraît indiquer qu'au Puits-Carré, au Puits-Chomel et à la Grande-

(*) La preuve en est fournie par l'énorme accroissement de débit obtenu à la Grande-Grille, en 1854, sans en abaisser le niveau, par le simple fait d'avoir détruit, jusqu'à la faible profondeur de 3m,20, les incrustations qui l'engorgeaient. Si l'étroite cheminée d'aragonite avait régné jusqu'à une grande profondeur, les résultats de ce travail auraient été bien moindres.

Grille, l'eau minérale, avant d'arriver au jour, perd plus d'acide carbonique qu'aux sources Lucas et du Parc, et abandonne aussi, par suite, sous forme d'incrustations, plus de carbonate de chaux et de magnésie : cela paraît tenir à ce que les cheminées ascensionnelles des trois premières sources, étant moins étanches que celles des deux autres, se laissent traverser plus facilement, au voisinage du sol, par le gaz carbonique.

Le groupe des Célestins donne lieu à des remarques analogues. A part l'acide phosphorique, tous les éléments minéralisateurs sont en plus grande quantité dans l'eau du Puits-Lardy, situé à 130 mètres du filon des Célestins, que dans celle des Célestins ; la différence est encore plus sensible qu'entre la source du Parc et le Puits-Carré ; on ne doit pas s'en étonner : la nappe où s'alimente la source Lardy, située à 148 mètres de profondeur, est mieux garantie contre les infiltrations d'eau douce que celle du Parc; la distance de la source artificielle à la cassure alimentaire est moindre; de plus, le point où a lieu la dérivation étant ici à une profondeur de 148 mètres au lieu de 40 mètres, la source naturelle, dans son trajet à partir de ce point jusqu'à la surface, est beaucoup plus exposée à se mélanger d'eau pluviale; enfin et surtout, la source des Célestins, ayant un débit beaucoup plus faible que le Puits-Carré, s'appauvrit beaucoup plus par l'addition d'une même quantité d'eau douce.

L'eau du puits foré de Vesse est notablement moins minéralisée que celle des Célestins et *à fortiori* que celle du Puits-Lardy ; la diminution porte sur tous les éléments, sauf l'acide phosphorique. C'est que la source de Vesse est située à 600 mètres du filon des Célestins, tandis que la source Lardy n'en est qu'à 130 mètres ; dans ce long trajet, l'eau minérale se mélange d'une proportion considérable d'eau douce. Mais, objectera-t-on, si l'on adopte cette manière de voir, comment s'expliquer que la source

de Vesse soit à une température (27°,8) notablement supérieure à celle du Puits-Lardy (23°,6) ? Cela tient à ce que le débit moyen de la première est trois fois plus grand que celui de la seconde et surtout à ce que, au lieu d'être continu et à peu près uniforme, il est intermittent : la source, à l'époque des observations de M. Bouquet, jaillissait à peu près toutes les heures pendant 6 minutes seulement ; il est clair que, dans ces conditions, l'eau perdait beaucoup moins de sa chaleur, en parcourant le tuyau ascensionnel, que si le même volume s'était écoulé d'une manière continue avec une vitesse dix fois plus petite. On a vu plus haut que, d'après nos observations, la température qui règne au fond du Puits-Lardy est de 31 degrés ; il y a tout lieu de penser qu'elle n'est pas plus élevée au fond du puits de Vesse.

Les quatre sources du groupe de Cusset qui figurent dans le tableau ci-dessus y présentent, pour presque tous les éléments, une série dont les termes vont en décroissant. Ce fait, du moins en ce qui concerne les trois premières, s'accorde on ne peut mieux avec l'hypothèse relative à leur origine. En effet, le puits de l'Abattoir est le plus rapproché de la cassure qui passe au moulin des Couteliers ; il n'en est qu'à 140 mètres ; le Puits-Elisabeth en est à 440 mètres et le Puits-Sainte-Marie à 520 mètres. Quant à la source de Mesdames, bien qu'elle n'en soit qu'à 350 mètres, elle est la moins minéralisée : il faut admettre que, par suite d'une circonstance spéciale, les eaux douces qui viennent se mélanger à la nappe d'eau minérale sont particulièrement abondantes dans le voisinage de cette source.

Nous n'insisterons pas sur les différences généralement assez nettes que l'on observe, en passant d'un groupe à l'autre, dans la composition chimique des eaux ; il suffit de comparer entre eux, par exemple, le groupe du Puits-Carré et celui de Cusset pour se convaincre de leur dissemblance.

Les proportions d'acide phosphorique et de fer que renferment les eaux de Vichy varient, avons-nous dit, d'une manière très capricieuse, non seulement d'un groupe à l'autre, mais encore entre les sources d'un même groupe. On doit en conclure qu'elles empruntent ces deux éléments, pour la plus grande part et grâce à l'action de l'acide carbonique qu'elles contiennent, aux roches lacustres avec lesquelles elles sont en contact. Nous savons, en effet, que le fer se rencontre fréquemment, à l'état de peroxyde, dans les calcaires et les argiles, surtout au voisinage de Cusset, et à l'état de pyrite dans les marnes grises ; quant à l'acide phosphorique, il provient des débris fossiles, qui abondent surtout dans les assises supérieures du dépôt lacustre. On s'explique ainsi que les sources du Parc et de Vesse, situées dans une région où existent ces assises, soient les plus riches en phosphore.

Ajoutons que, suivant nous, le fer et le phosphore contenus dans les eaux de Vichy proviennent en majeure partie de quelques filets d'eau très ferrugineuse (*) ou très phosphatée, qui çà et là viennent se déverser dans les nappes d'eau minérale : il en résulte pour celles-ci un accroissement de richesse en fer ou en phosphore, qui n'est bien sensible que dans un petit rayon, autour des points où elles reçoivent ces infiltrations.

Les sources des trois premiers groupes (à l'exception de celle des Célestins (**), qui, à raison de son faible débit, suit les variations de la température du sol d'où elle jaillit) ont seules une thermalité bien prononcée, à l'exclusion des

(*) Nous avons observé, dans la carrière de Fontsalive (près d'Hauterive), plusieurs de ces filets d'eau très-ferrugineuse, coulant de haut en bas dans les joints du grès à ciment calcaire.

(**) Encore devons-nous remarquer qu'à l'époque des observations de Lassonne (1775), la source des Célestins, probablement beaucoup plus abondante qu'aujourd'hui, était vraiment thermale (27°,5).

sources de Cusset, d'Hauterive et de Saint-Yorre. Elles la doivent probablement à la présence du basalte, injecté à une époque relativement récente dans les cassures des Célestins et du Puits-Carré : on a vu plus haut (p. 583) que

Résultats des observations les plus récentes sur le dé

DÉSIGNATION DES SOURCES.	DATE de l'observation.	NOMS des observ
Puits-Carré.	Février 1861	M. de Gouv
	23 juillet 1873.	M. Des Cl
Grande-Grille.	Février 1861.	M. de Gouv
	22 juillet 1873.	M. Des Cl
	15 janvier 1875.	M. de Gouv
Puits-Lucas.	14 févr. 1878 à 5 h. du soir.	M. Voisin
	15 févr. 1878 à 7 h. du matin.	Idem.
Source de l'Hôpital.	13 octobre 1869.	M. de Go
	14 octobre 1869.	Idem.
	26 juillet 1873.	M. Des Cl
Anciens Célestins n° 1.	13 février 1879.	M. Voisin.
Nouveaux Célestins n° 1 (source de la vasque).	1874.	M. de Gouv
Anciens Célestins n° 2.	1870.	Idem.
	Novembre 1873.	Idem.
	13 février 1879.	M. Voisin.
Nouveaux Célestins n° 2.	Avril 1870.	M. de Gouv
Puits Brosson (source du Parc).	1857.	M. Pigeon.
	22 juillet 1873.	M. Des Cl
Source Lardy.	1877.	M. Sandrier.
Source de Vesse (source intermittente).	1877.	"
Source des Longues-Vignes (source Larbaud).	24 janvier 1880.	M. Voisin.
Source de Mesdames.	9 septembre 1876.	Idem.
Source Elisabeth (à Cusset).	9 octobre 1877.	Idem.
Source Sainte-Marie (à Cusset).	Idem.	Idem.
Source Lafayette (à Cusset).	24 janvier 1880.	Idem.
Source d'Hauterive.	1er novembre 1877.	M. Mo
Source de Saint-Yorre (source du Sud).	23 février 1878.	M. Voisin.

(*) L'eau était maintenue à ce niveau, à l'aide de pompes, depuis 60 heures.
(**) On a observé, en outre, une perte latérale débitant $3^{m3},405$.
(***) Après épuisement prolongé.

On indique parfois, à côté des chiffres obtenus pour le débit et la température des sources minérales, la température de l'air observée au même moment : cette indication

l'existence de la roche éruptive dans ces deux fentes a été positivement constatée ; les autres cassures sont à une assez grande distance des gisements basaltiques de Saulzat et de la Poivrière.

la température des sources de Vichy et des environs.

NIVEAU DE L'EAU.	PRESSION barométrique au niveau de l'eau.	DÉBIT par 24 heures.	TEMPÉRATURE.	OBSERVATIONS.
	millim.	mèt. cub.	deg. cent.	
eau du déversoir (2^{m},92 au-dessous du sol de l'établissement thermal).	»	115,832	45,0	
»	737,0	»	43,3	
eau supérieur (0^{m},94 au-dessous du sol de l'établissement).	»	41,152	44,0	
eau inférieur (3 ,30 id. id. id.).	»	71,427		
»	739,0	»	42,0	
35 au-dessus du fond du puits, soit 12^{m},03 au-dessous du egard de la place des Acacias.	»	99,000	»	(*)
eau du déversoir, soit 3^{m},68 au-dessous du regard de la lace des Acacias	744,7	20,324	30,0	(**)
eau du déversoir, soit 3^{m},68 au-dessous du regard de la lace des Acacias.	743,0	21,150	30,0	
a bonde de fond.	»	51,391	»	
eau d'alimentation des bains de l'hôpital civil (1^{m},76 de charge d'eau sur les griffons).	»	48,965	34,5	
»	737,0	»	34,0	
robinet d'embouteillage.	»	0.281	»	
op-plein de la vasque.	»	0,500	14,4	
puits étant maintenu à sec.	»	18 000 à 20,000	15,2	
Id. id. id.	»	15 000	»	(***)
eau de la conduite allant au caveau d'embouteillage.	»	13,007	14,5	
ns charge sur les griffons.	»	13,080	16,0	
eau de l'orifice du tuyau ascensionnel.	»	12.000 à 15,000	»	(****)
»	739,0	»	19,2	
l'orifice de jaillissement (1^{m},00 au-dessus du sol).	»	8,000	»	
Id. id. id. (0 ,70 id. id.).	»	20,000	27 à 29	
robinet d'embouteillage (0 ,60 id. id.).	746,5	4,000	20,5	
eau de l'origine de la conduite de la buvette (0^{m},80 au-dessus du sol)	738,5	17.500	17,5	
l'orifice de jaillissement.	738,0	17,502	16,5	(*****)
Id. id. id.	738,0	10.015	15,5	
Id. id. id.	747,0	3.528	14,5	
x robinets d'embouteillage.	»	40,000	15,0	
robinet d'embouteillage (0^{m},50 au-dessus du sol).	746,0	2.808	14.5	

(****) Avant l'installation de la buvette et de la pompe actuelles.
(*****) Le débit augmente un peu quand la source Sainte-Marie cesse de jaillir.

offre fort peu d'intérêt, car il se produit presque toujours, dans le cours d'une journée, de grandes variations thermométriques qui n'affectent pas la température du sol à une

profondeur notable et qui, par suite, n'ont pas une influence sensible sur la température de la source. Ce qu'il importerait de connaître, c'est la manière dont a varié la *moyenne thermométrique diurne* ou même seulement la *moyenne mensuelle* pendant un assez long temps avant l'expérience. Des observations suivies devraient être instituées à cet effet dans les principales stations thermales. Malheureusement, rien de pareil n'a été fait à Vichy.

Nous donnons toutefois les moyennes thermométriques obtenues à Moulins, à l'observatoire départemental de l'Ecole normale (*), depuis le mois d'octobre 1873; on peut admettre que ces chiffres sont à peu près les mêmes que ceux que l'on obtiendrait à Vichy.

MOIS.	1873-74	1874-75	1875-76	1876-77	1877-78	1878-79	1879-80
	degrés	degrés	degrés	degrés	degrés	degrés	degrés
Octobre	11,0	12,5	11,4	14,9	11,4	13,2	10,9
Novembre	7,0	8,7	8,0	7.2	8,8	5,6	3.5
Décembre	1,05	0,8	1,3	6,9	4,0	1,1	—7,0
Janvier	4,5	6,1	1,1	9,7	1,7	3,4	»
Février	4,2	1.9	5,8	6,6	5,5	5,9	»
Mars	7,1	7,6	7,7	6,5	6.5	8.3	»
Avril	8,9	12,7	11,4	11,8	12,7	9,4	»
Mai	16,3	18,4	13,7	13,2	16,5	10,9	»
Juin	21,4	18,5	19,3	21,5	19.0	18,4	»
Juillet	23,7	19,5	22,4	23,8	21,1	17,8	»
Août	19,3	21,6	22,0	21,3	20,4	21,3	»
Septembre	18,7	20,6	16,9	15,6	17,4	16,9	»
Moyennes annuelles.	12,1	12,4	11,7	13,0	12,0	11,0	»

(*) Ces chiffres sont calculés en prenant chaque jour la moyenne arithmétique des températures maxima et minima.

TABLE DES MATIÈRES.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES.

Planche IX.

Fig. 1 — *Carte géologique des environs de Vichy.*
A, A'. Sources naturelles.
A''. Ancienne source d'Hauterive (disparue).

Fig. 2. — *Plan d'ensemble des sources de Vichy.*
A. Puits donnant de l'eau très notablement minérale.
B. Point où l'on a observé un dégagement abondant de gaz carbonique en faisant une fouille.
C. Source Collas.
D. Source minérale au sous-sol de la maison Forestier.
E. Source Pacaud-Petit.
F. Source minérale dans la cave de la maison Grolleau.
G. Point où l'on a mis à jour une source minérale abondante, en faisant une fouille.
H. Travertin en feuillets verticaux, dirigés de l'O.-N.-O à l'E.-S.-E.
K, L, M, N, O, P, Q, R, S. Points où l'on voit le rocher des Célestins en feuillets sensiblement verticaux,
I. Filon transversal croisant le filon principal.
T, U, V, X, Z. Points où l'on observe du travertin en feuillets contournés se rapprochant de la position horizontale.

Planche X.

ig. 1 et 2. — *Sources Lucas et Prunelle* (la fig. 1 est la coupe suivant XY du plan, représenté par la fig. 2).
A. Ancienne source des Acacias (disparue).
B. Ancien puits Lucas (remblayé).
C. Chambre souterraine.
G. Puits Lucas actuel.
R. Galerie partant du puits Lucas.
H. Blocs de pierre entassés pour protéger les griffons contre les éboulements.
Q. Aqueduc Lucas.
S. Réservoir Larbaud.
P. Puits Larbaud.
a. Gravier.
b. Sable.

c. Sable aquifère.
d. Argile.
f. Calcaire argileux.
g. Marne bleue ou noire.
h. Calcaire jaune.

Fig. 3. — *Plan des sources des Célestins.*
A. Source innommée et inutilisée.
B. Anciens Célestins n° 1 (griffon disparu).
C. Anciens Célestins n° 1 (griffon actuel).
D, G. Anciens griffons disparus.
F. Puits construit en 1856 sur un griffon et remblayé en 1857.
H. Nouveaux Célestins n° 1, ou source de la Vasque.
K. Puits des anciens Célestins n° 2.
M, N. Nouveaux Célestins n° 2 (deux griffons).

Fig. 4, 5 et 6. — *Coupes suivant les lignes* ST, UV *et* XY *du plan* fig. 3.

Fig. 7. — *Source d'Hauterive,* après la réfection du tubage, en 1876.
a. Terre végétale.
b. Gravier.
c. Sable fin.
d. Argile.
e. Banc solide.
f. Marne grise feuilletée.
g. Sable argileux (couche perméable où gît la nappe d'eau minérale).
h. Argile rouge sableuse.

Fig. 8. — *Sources de Saint-Yorre.*
A. Source du bas.
M. Source du haut.
C. Source disparue.
D. Source intermittente (prof. 7m).
E. Source à jet continu (prof. 33m).
S. Sondage.

DISCOURS

DE

M. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DAUBRÉE,
Membre de l'Académie des sciences, président des cinq Académies de l'Institut (*).

Extrait concernant M. JEAN REYNAUD, ingénieur des mines.

Une seconde et très généreuse fondation nous a été offerte, depuis notre dernière réunion générale. Le prix Jean Reynaud consiste en une somme annuelle de 10.000 francs que « chacune de nos cinq Académies doit, à son tour, et sans pouvoir le diviser, attribuer à une œuvre originale, élevée, ayant le caractère d'invention et de nouveauté et qui se serait produite dans une période de cinq ans. Le prix sera toujours accordé intégralement ; mais, dans le cas où aucun ouvrage ne paraîtrait le mériter entièrement, la valeur serait décernée à quelque grande infortune scientifique, littéraire ou artistique. »

Tel est le texte de la donation, par laquelle une noble femme a voulu honorer la mémoire de celui dont elle fut la digne compagne et « perpétuer son zèle pour tout ce qui touche aux gloires de la France. »

Sans attendre que des hommes d'élite bénissent dans l'avenir la pieuse volonté dont ils recevront le bienfait, l'Institut est heureux de présenter à la fondatrice du *Prix Jean Reynaud* l'expression de sa gratitude.

. . . .

(*) Ce discours a été prononcé le 25 octobre 1879, à la séance publique annuelle des cinq Académies.

Quoique doué, lui aussi, des facultés qui font le poète, c'est dans les sciences exactes que Jean Reynaud avait révélé, dès sa première jeunesse, les plus heureuses aptitudes. Sorti l'un des premiers de l'École polytechnique, il entra dans le Corps des mines, où il a terminé sa carrière officielle en professant, pendant trois années, à notre École, le cours d'économie et de législation des mines. Parmi les études auxquelles l'élève-ingénieur fut conduit, la géologie l'attira tout particulièrement, ainsi que l'attestent ses premières publications : l'une sur la région volcanique des bords du Rhin, dont l'intérêt, comparable à celui de notre Auvergne, avait vivement frappé le jeune observateur ; l'autre sur la constitution minérale, alors peu connue, de l'île de Corse, qu'il s'était empressé d'explorer, aussitôt qu'il fut appelé à y faire ses débuts d'ingénieur.

Une extrême générosité de caractère le porta à renoncer à ces fonctions, malgré le désir de sa mère, à laquelle il portait un profond amour. Il se sentait entraîné vers les théories sociales, qui fascinaient alors d'éminents esprits, et il voulait se consacrer entièrement à la propagation d'une doctrine qu'il croyait profitable tout ensemble à la science et à l'humanité.

La diversité des questions qu'aborda Jean Reynaud, à partir du jour où il se dévoua chaleureusement à ce qu'il croyait un apostolat, nous saisit d'étonnement. Qu'on lise l'exposé général des connaissances humaines, qui forme l'introduction de son Encyclopédie, ou l'analyse de la sensation, ou l'appréciation des travaux de Cuvier, ou l'étude sur Pascal, considéré comme géomètre, on retrouve toujours, comme dans ses premiers ouvrages, le penseur et l'écrivain.

Des hautes régions spéculatives qu'habitait son esprit, le fécond auteur revenait, avec une prédilection marquée, aux sujets qui d'abord l'avaient captivé. Ainsi, partant des déformations que la surface terrestre a dû subir, sous

l'influence de la répercussion d'une énergie souterraine et d'un refroidissement séculaire, il rechercha les lois générales de la géographie, qui, soumise jusque dans ses derniers détails à la science géométrique, offre, dit-il, des problèmes de même nature que ceux de l'astronomie.

Pendant un loisir forcé de quelques semaines que lui avait valu un trait de courageuse sincérité, il écrivit une *Histoire élémentaire des minéraux usuels*, afin de faire contempler « en quelle admirable source de biens de toute espèce la terre se transforme sous l'influence du génie de l'homme ». Publié d'abord sans nom d'auteur, ce modeste volume attire encore, au bout d'un demi-siècle, de nombreux lecteurs. C'est un petit chef-d'œuvre d'exposition, et, quelque aride que le sujet puisse paraître, on y rencontre à chaque instant, à propos des corps bruts, des aperçus d'un haut intérêt.

Toujours dominé par le désir d'être utile, Jean Reynaud a maintes fois employé le même talent pour rendre accessibles à tous, dans une Revue justement populaire, des notions très diverses de physique et d'histoire naturelle.

En supposant que les courts instants qui me sont comptés me le permissent, je ne pourrais qu'affaiblir l'appréciation émue qui a été faite de Jean Reynaud par plusieurs de nos confrères (*), qui s'honorent d'avoir été ses amis, ses admirateurs et presque ses disciples. Ils sont unanimes à reconnaître la puissance entraînante de sa parole, la vigueur de ses conceptions synthétiques, en même temps que le charme de son caractère. « On trouve chez lui, dit M. Henri Martin, un esprit vraiment encyclopédique, une surabondance de vues, la belle faculté de s'intéresser et d'intéresser à tout, une fermeté de sens moral inébranlable, et une lumière de l'idéal qui transfigure les vulgaires

(*) MM. Henri Martin, Legouvé, Charton.

objets et qui jette un reflet de l'infini jusque dans les plus basses conditions des choses finies. »

Ainsi, par l'universalité des œuvres auxquelles il s'adresse, en même temps que par la diversité des mérites qu'il est appelé à récompenser, le prix Jean Reynaud répond à la fois à la vaste intelligence et aux grandes aspirations que son nom ne cessera de rappeler.

Quand nous relisions les pages, pleines d'éloquence et de poésie, de *Terre et Ciel*, où était tracé, il y a vingt-cinq ans, un magnifique tableau du monde physique, nous ne pouvions nous empêcher de penser à la vive satisfaction avec laquelle Jean Reynaud aurait accueilli les découvertes qui, depuis lors, ont confirmé et fortifié les rapprochements auxquels il se plaisait.

D'une part, l'analyse spectrale est parvenue à surprendre dans le Soleil, et jusque dans les étoiles, les indices d'éléments matériels semblables à ceux qui abondent dans notre planète. D'autre part, une ressemblance, bien plus intime encore qu'on n'aurait osé le croire, trouve sa démonstration tangible dans ces nombreux débris errants qui, venant échouer sur notre planète, nous apportent des échantillons des astres dont ils sont détachés. Non-seulement les météorites n'ont fourni aux investigations les plus approfondies aucun corps simple qui nous soit étranger, mais aussi, parmi les combinaisons minérales qui constituent ces débris célestes, la plupart sont absolument les mêmes, dans leur forme cristalline comme dans leur nature chimique, que celles qui appartiennent à certaines masses terrestres; ou, lorsqu'elles en diffèrent, il est facile, par une opération chimique des plus simples, de les réduire à l'identité.

De telles affinités achèvent de nous prouver que les astres lointains, dont ces fragments nous fournissent des témoignages, ont passé par les mêmes évolutions que celles qu'a subies notre planète, et que nous entrevoyons

déjà dans le Soleil et dans les étoiles. Ainsi l'histoire de notre terre s'agrandit, dans la profondeur de l'espace aussi bien que dans celle du temps, et elle devient un exemplaire abrégé de l'histoire de l'univers.

Aujourd'hui donc que resplendit, plus clairement que jamais, l'unité qui règne dans la constitution matérielle du monde, combien ne devons-nous pas rendre hommage au grand homme qui, parmi nous, il y a plus de deux siècles, a ouvert de tels horizons ?

Dans une synthèse des plus hardies, et dont l'esprit humain n'avait pas encore offert d'exemple, Descartes, continuant à transporter la mathématique dans des régions entièrement nouvelles, osait, le premier, considérer tous les phénomènes célestes, comme de simples déductions des lois de la mécanique.

Affirmer l'idée-mère de la belle théorie cosmogonique, par laquelle Laplace a couronné le magnifique édifice dont Copernic, Kepler et Newton avaient élevé les assises, proclamer l'unité de composition de l'univers physique, démontrer, pour ainsi dire, l'incandescence initiale de notre globe, aussi bien que des autres astres, telles sont les propositions fondamentales qu'avait suggérées à Descartes une intuition, qui n'appartient qu'au génie.

« Je montre, dit-il, comment la plus grande partie de ce chaos devait, en suite de ces lois, se disposer et s'arranger d'une façon, qui le rendait semblable à nos Cieux ; comment quelques-unes de ses parties devaient composer une Terre, et quelques-unes, des comètes, et quelques autres, un Soleil et des étoiles fixes. » (*).

Ailleurs : « Il n'est pas malaisé d'inférer de tout ceci, que la Terre et les Cieux sont faits d'une même matière (**). »

(*) *Discours sur la méthode*, 5e partie.

(**) *Les Principes de la philosophie*, écrits en latin par Réné Descartes, et traduits en français par un de ses amis. 2e partie,

Et encore : « Feignons que cette Terre où nous sommes a été autrefois un Astre, en sorte qu'elle ne différait en rien du Soleil, sinon qu'elle était plus petite (*). »

Enfin, le puissant philosophe poursuit sa pensée avec méthode et rigueur, et rattache les dislocations que présente de toutes parts la « voûte terrestre » au refroidissement et à la contraction de la masse interne qui la supporte (**).

Une telle vue s'était présenté à l'esprit de Descartes, quoique l'étude du sol n'eût encore pu lui fournir aucune base d'induction. Il y a plus : malgré les observations conformes du géologue danois Stenon, la justesse de cette pensée resta bien longtemps méconnue. Au commencement même de notre siècle, la doctrine, alors très en vogue, de Werner attribuait les montagnes à une disposition originelle, produite au sein d'un Océan primitif. Il ne fallut rien de moins que les ingénieuses et persévérantes investigations d'esprits élevés et hardis, tels que Hutton, de Saussure, Léopold de Buch, Élie de Beaumont, pour forcer à reconnaître qu'une étroite relation existe entre l'activité intérieure du globe et les innombrables cassures qui en traversent l'écorce en tous sens.

Comme si ce n'était pas assez de tant d'autres titres qui le recommandent aux siècles futurs, et malgré des erreurs qui sont de son temps et de l'humanité, Descartes nous apparaît donc en outre comme initiateur de ces sciences, que nous nommons aujourd'hui « Cosmologie » et « Géologie. »

---

§ 22, p. 72, édit. de 1668. — C'est en 1644 que cet ouvrage parut d'abord, en langue latine.

(*) Même ouvrage, 4e partie, § 2, p. 286. Plus loin est cette phrase qui est digne aussi de l'attention des géologues : « Au-dessus de la croûte intérieure de laquelle viennent tous les métaux est une croûte qui est composée de pierres. »

(**) Même ouvrage, 4e partie, § 42, p. 322. Une figure placée dans le texte représente très clairement l'idée de Descartes.

Dans nos jours d'activité fiévreuse, où chacun poursuit ses recherches, sans s'inquiéter toujours de ceux qui lui ont préparé les voies, il m'a paru équitable et opportun d'exercer ici une sorte de revendication publique, en signalant à la reconnaissance de tous ces idées sublimes de l'homme qui, à l'éternel honneur de la France, sut pénétrer d'un même regard le monde de la matière et celui de l'esprit : c'est là une gloire plus durable encore que le marbre qui le représente au milieu de nous, dans ce sanctuaire de la pensée.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'AUTRICHE EN 1877.

Nous extrayons de l'*Oesterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen*, le résumé de la statistique minérale de l'Autriche en 1877.

Dans la conversion des florins en francs, nous avons conservé au florin sa valeur nominale de 2f,50. Sa valeur effective moyenne a été de 2f,038, comme il résulte du tableau suivant, relevé au *Journal officiel*.

	fr.		fr.
1er janvier	2,02	1er août	2,01
1er février	2,04	1er septembre	2,10
1er mars	2,02	1er octobre	2,13
1er avril	2,05	1er novembre	2,11
1er mai	1,93	1er décembre	2,10
1er juin	1,95		
1er juillet	2,00	Moyenne	2,038

De sorte que, pour avoir la vraie valeur des sommes que nous indiquons, il faut les multiplier par le rapport de 2,038 à 2,5 ou par 0,815.

I. — MINES.

Le tableau I donne la production des différentes mines de l'empire d'Autriche (à l'exclusion de la Hongrie), et la valeur des produits, comparées à celles de l'année précédente :

Tableau I. — Production des mines en 1877.

NATURE des matières extraites.	POIDS (tonnes).	DIFFÉRENCE de poids par rapport à 1876. En plus.	En moins.	VALEUR totale. (francs.)	VALEUR par tonne. (francs.) 1877	1876
Houille	4.885.863	»	42.386	43.825.680	8,97	9,35
Lignite	7.126.019	186.401	»	36.252.257	5,09	5,30
Graphite	11.858	»	859	1.333.455	112,45	100,90
Asphalte	79	»	48	2.365	29,90	32,62
Huiles minérales	608	18	»	150.292	247,19	131,52
Minerai de fer	538.701	»	16.264	4.661.440	8,65	9,10
— de manganèse	7.900	1.118	»	174.635	22,11	27,45
— de cuivre	4.845	284	»	658.960	135,99	138,55
— de plomb	9.400	1.737	»	3.464.207	368,54	358,63
— d'argent	9.561	1.094	»	7.768.115	812.44	732,35
— d'or	105	»	70	31.950	303,70	175,42
— de mercure	32.112	167	»	1.934.895	60,25	86,05
— de zinc	24.002	»	2.456	856.117	35,67	42,32
— d'étain	785	»	386	»	»	»
— de bismuth	0,12	»	3,43	1.145	9.042,22	363,75
— de nickel et de cobalt	105	8	»	29.945	284,46	537,62
— d'antimoine	173	128	»	72.597	418,68	354,00
— d'arsenic	135	»	146	3.380	24,99	36,15
— d'urane	7	0,1	»	124.730	17.910,68	15.971,55
— de chrome	95	65	»	14.730	155,05	183,00
— de tungstène	39	39	»	8.380	212,15	»
— de soufre	6.366	»	3 478	190.210	29,88	27,12
Schistes vitrioliques et alunifères	147.661	34.198	»	229.882	1,56	1,72

Ce tableau montre que la production des minerais de manganèse, de plomb, d'argent et d'antimoine, a éprouvé un accroissement sensible, tandis que celle des minerais de fer, de zinc, d'or, d'étain, d'arsenic et de soufre a diminué. Quant aux prix par tonne, ils se sont généralement abaissés, mais dans une proportion moindre qu'en 1876 ; ceux des minerais d'or, d'argent et de plomb, du graphite, des huiles minérales et de quelques autres matières se sont cependant élevés.

La valeur totale des produits, qui en 1876 avait été de 103.743.090 francs, s'est abaissée à 101.789.370 francs. C'est une diminution de 1.953.720 francs, ou de 1,9 p. 100 environ.

La production des combustibles minéraux s'est élevée à 12.012.000 tonnes, d'une valeur de 80.078.000 francs. Elle représente 93 p. 100 du poids et 78 p. 100 de la valeur de l'ensemble des matières minérales extraites.

Cette production se répartit de la manière suivante dans les diverses provinces de l'empire.

PRODUCTION DE LA HOUILLE.		PRODUCTION DU LIGNITE.	
Bohême	56,01 p. 100	Bohême	70,32 p. 100
Silésie	26,99 —	Styrie	20,32 —
Moravie	10,18 —	Haute-Autriche	3,96 —
Galicie	5,97 —	Carniole	2,12 —
Basse-Autriche	0,84 —	Moravie	1,39 —
		Carinthie	0,85 —
	99,99	Autres provinces	1,04 —
			100,00

Les variations de production des différentes provinces par rapport à 1876, sont les suivantes :

Pour la houille :

PROVINCES.	EN PLUS.	EN MOINS.
Basse-Autriche	14,44 p. 100	»
Silésie	5,77 —	»
Moravie	2,57 —	»
Bohême	»	3,07 p. 100
Galicie	»	13,78 —

Pour le lignite :

PROVINCES.	EN PLUS.	EN MOINS.
Galicie	57,20 p. 100	»
Carniole	23,39 —	»
Dalmatie	18,00 —	»
Carinthie	16,60 —	»
Bohême	3,50 —	»
Moravie	»	0,40 p. 100
Haute-Autriche	»	0,60 —
Styrie	»	0,84 —
Istrie	»	2,60 —
Silésie	»	16,10 —
Basse-Autriche	»	30,50 —

La part des lignites dans la production totale des combustibles minéraux, qui en 1876 était de 58 p. 100, s'est élevée à 59 p. 100 en 1877.

En ce qui concerne la Bohême, qui à elle seule produit 64 p. 100 des combustibles, le tableau suivant donne le mouvement de la houille et du lignite dans cette province :

	HOUILLE.	LIGNITE.
Production	2.736.353 tonnes.	5.011.194 tonnes.
Importation.	527.418 —	32.637 —
Exportation.	431.365 —	2.539.933 —
Consommation.	2.832.406 —	2.503.898 —

Le nombre total des ouvriers employés dans les mines s'est légèrement abaissé en 1877 :

NATURE DES MINES.	1877.		1876.
	Nombre d'ouvriers.	P. 100.	Nombre d'ouvriers.
Mines de houille.	36.426	44,3	36.383
— de lignite.	26.289	31,9	26.270
— d'argent.	5.232	6,4	4.943
— de fer.	4.932	6,0	5.671
— de plomb	3.653	4,4	3.405
— de zinc.	1.539	1,9	1.950
— de graphite.	941	1,1	796
Autres mines.	3.299	4,0	3.579
Total.	82.311	100,0	82.997

Le nombre et la force des machines à vapeur employées pour l'extraction et pour l'épuisement sont indiqués dans le tableau qui suit :

NATURE DES MINES.	EXTRACTION.		ÉPUISEMENT.		EXTRACTION et ÉPUISEMENT.	
	Nombre.	Chevaux.	Nombre.	Chevaux.	Nombre.	Chevaux.
Mines de houille.	197	6.614	173	13.540	35	673
— de lignite.	231	4.955	205	6.488	53	943
Autres mines.	36	1.082	50	1.133	27	352
Total.	464	12.651	428	21.161	115	1.968

En tout, 1.007 machines, d'une force totale de 35.780 chevaux.

La longueur totale des voies ferrées servant à l'exploitation des mines était, en 1877, de 2.232 kilomètres, savoir :

	DANS LA MINE.	AU JOUR.
	kilomètres.	kilomètres.
Mines de houille.	787,0	158,9
— de lignite.	654,2	304,0
Autres mines.	146,0	181,8
Total.	1.587,2	644,7

II. — USINES.

Le tableau II donne pour chaque substance le poids et la valeur des produits comparés à ceux de l'année 1876. Il montre un accroissement sensible dans la production du plomb, de l'argent et du zinc, et une diminution dans la production de la fonte, de l'étain, de l'antimoine et du soufre. Le prix par tonne s'est généralement abaissé, sauf pour la fonte de moulage, l'étain et l'arsenic.

TABLEAU II. — Production des usines en 1877.

NATURE des matières produites.	POIDS (tonnes.)	DIFFÉRENCE de poids par rapport à 1876		VALEUR totale. (francs.)	VALEUR de la tonne.	
		En plus.	En moins.		1877	1876
Fonte d'affinage . . .	224.671	»	8.201	27.406.035	122,0	127,5
Fonte de moulage . .	34.365	»	5.808	6.936.472	201,8	190,0
Cuivre.	469	27	»	1.086.627	2.316,4	2.427,5
Plomb.	5.314	1.023	»	3.283.195	617,8	647,5
Litharge.	3.502	264	»	1.965.642	561,3	577,5
Argent.	27,169	2,003	»	6.052.320	222.766,5	233.972,5
Or.	0,0087	»	0,0049	25.760	2.960.919,5	3.196.322,5
Mercure.	392	16	»	2.345.637	5.989,6	7.280,0
Zinc	4.519	540	»	2.415.405	534,5	602,5
Etain.	101	»	106	254.345	2.520,7	2.377,5
Nickel.	14	»	8	49.350	3.525,0	4.152,5
Bismuth.	»	»	0,085	»	»	18.000,0
Antimoine.	42	»	102	36.807	875,0	897,5
Arsenic	24	»	3	15.165	631,9	620,0
Jaune d'urane.	4,5	»	0,1	240.000	53.333,3	52.030,0
Soufre et sulfure de carbone.	305	»	80	88,095	»	»
Acide sulfurique. . . .	9.739	»	»	3.237.020	332,4	»
Alun.	2.052	122	»	401.155	195,4	212,5
Sulfate de fer.	1.519	54	»	142.655	93,9	75,0
Couleurs minérales . .	1.494	127	»	40.600	27,2	80,0

La valeur totale des produits a été de 56.390.085 francs ; en 1876, elle était de 59.919.650 francs. C'est donc une perte de 3.529.565 francs, ou de 5,9 p. 100.

La production minérale totale, c'est-à-dire la somme des valeurs des produits miniers et métallurgiques, déduction faite de la valeur des minerais traités dans les usines, s'est abaissée de 6.438.917 francs, ou de 4,5 p. 100, par rapport à 1876. Elle se répartit de la façon suivante, entre les provinces de l'empire :

PROVINCES.	FRANCS.	POUR 100.
Bohême	60.078.700	44,24
Styrie	28.258.035	20,81
Silésie	14.951.113	11,01
Moravie	9.233.912	6,80
Carinthie	8.549.253	6,30
Carniole	4.523.223	3,33
Galicie	4.252.115	3,13
Haute-Autriche	1.818.310	1,34
Tyrol	1.392 857	1,03
Basse-Autriche	1.349.712	0,99
Salzbourg	645.428	0,48
Istrie	526.315	0,39
Bukowine	134.617	0,10
Dalmatie	74.855	0,05
Vorarlberg	6.000	0,004
Total	135.794.475	100,004

En ce qui concerne la production de la fonte, voici de quelle façon elle se répartit entre les diverses provinces :

PROVINCES.	FONTE d'affinage. p. 100.	FONTE de moulage. p. 100.	FONTE de moulage et d'affinage réunies. p. 100.
Styrie	54,41	6,58	48,06
Bohême	9,22	56,91	15,55
Carinthie	17,01	1,74	14,99
Silésie	8,81	6,20	8,46
Moravie	6,44	15,45	7,64
Carniole	1,72	2,21	1,78
Basse-Autriche	1,68	1,11	1,60
Galicie	0,06	7,47	1,05
Tyrol	0,65	2,33	0,87
Total	100,00	100,00	100,00

Cette production a diminué de 30.413 tonnes en 1876, et seulement de 14.009 tonnes, en 1877.

Le nombre des ouvriers employés dans les usines à fer s'est élevé de 7.691 en 1876, à 7.780 en 1877; celui des ouvriers em-

ployés dans les autres usines à métaux, s'est également élevé de 1627 à 1743. Le nombre total des ouvriers est donc monté de 9.318 à 9.523.

Pour terminer ce qui concerne les usines autrichiennes, donnons le tableau des principaux appareils métallurgiques existant en 1877.

Hauts-fourneaux à fer	171	Fours de sublimation	6
Hauts-fourneaux pour métaux autres que le fer	28	Fours de distillation	166
Demi-hauts-fourneaux	16	Fours de grillage	736
Fours à manche	13	Fours à réverbère	162
Bas-foyers et foyers d'affinage	12	Appareils Bessemer	16
Fours de coupellation	10	Cubilots	61

III. — SALINES.

La production du sel a été de 251.058 tonnes, représentant une valeur de 55.809.535 francs.

Tableau III. — Production des salines en 1877.

NATURE DU SEL.	POIDS. (tonnes.)	DIFFÉRENCE DE POIDS par rapport à 1876.	
		En plus.	En moins.
Sel gemme	54 098	»	2.371
Sel raffiné	149.111	2.317	»
Sel marin	33.928	»	558
Sel pour l'industrie	13.921	2.204	»

Les salines ont employé 8.820 ouvriers, répartis comme il suit :

Dans les mines		1.720 hommes.
Dans les usines	{	3.992 hommes.
		1.660 femmes.
		1.448 enfants
Total		8.820

IV. — ACCIDENTS.

Le nombre total des accidents dans les exploitations minieres a été de 304, dont 144 ont été suivis de mort :

NATURE des mines.	ACCIDENTS suivis de mort.		ACCIDENTS graves.	
	Nombre total.	Nombre pour 1000 ouvriers.	Nombre total.	Nombre pour 1000 ouvriers.
Mines de houille.	58	1,8	71	2,2
— de lignite.	63	2,6	57	2,4
— de fer.	6	1,3	8	1,7
— de sel.	1	0,6	2	1,2
Autres mines.	16	1,3	22	1,8
Total et moyenne.	144	1,9	160	2,1
— en 1876. . . .	192	2,5	173	2,2

Les causes des accidents et l'importance relative de chacune de ces causes ressortent des chiffres suivants :

CAUSES DES ACCIDENTS.	NOMBRE d'hommes tués.	NOMBRE d'hommes blessés.	NOMBRE total.	POUR 100.
Éboulements.	71	62	133	44,0
Roulage.	14	25	39	12,8
Chutes dans les puits.	23	5	28	9,2
Tirage à la poudre.	3	21	24	7,9
Machines.	7	11	18	5,9
Chutes de pierres venant du jour.	3	8	11	3,6
Havage.	4	6	10	3,2
Gaz irrespirables.	8	»	8	2,6
Echelles.	3	4	7	2,3
Grisou	3	2	5	1,6
Autres causes.	5	16	21	6,9
Total.	144	160	304	100,0

Un accident ou un accident suivi de mort correspondent à une extraction de :

NATURE des mines.	ACCIDENT.	ACCIDENT suivi de mort.
Mines de houille.	37.875 tonnes.	84.239 tonnes.
— de lignite.	59.383 —	113.111 —
— de fer.	38.479 —	89.783 —
— de sel.	18.032 —	54.097 —
Autres mines.	6 733 —	15.990 —
Moyenne en 1877.	42.304 —	89.309 —
— en 1876.	34.806 —	66.167 —

V. — CAISSES DE SECOURS MUTUELS.

Il y avait en Autriche, à la fin de 1877, 374 caisses de secours mutuels, dont 20 pour les salines. Leur capital était de 18.572.815 f. Le nombre des sociétaires était de 83.585, celui des bienfaiteurs, de 21.412. Il y avait 25.578 personnes secourues.

Si l'on fait abstraction des salines, on trouve 80.706 sociétaires, 20.934 bienfaiteurs et 23.256 personnes secourues, savoir :

Hommes	7.210
Veuves	9.218
Orphelins	6.328
Total	23.256

La contribution des sociétaires a été de	2.302.110 fr.
Celle des bienfaiteurs	262.080
Celle des propriétaires des établissements	678.055
Total en 1877	3.242.245 fr.
— en 1876	3.214.932

Les secours distribués se classent ainsi :

Secours permanents	2.118.532 fr.
— temporaires	663.530
— médicaux, remèdes	921 268
Total en 1877	3.703 330 fr.
— en 1876	3.508.260

La moyenne des secours permanents distribués aux personnes secourues est la suivante :

Pour un homme	171f,92
Pour une veuve	77 ,30
Pour un orphelin	24 ,40

Le nombre des sociétaires et des bienfaiteurs surpasse celui des travailleurs employés dans les mines et usines. Ce fait provient de ce que beaucoup de caisses de secours sont ouvertes aux ouvriers des usines de raffinage ou des entreprises qui se rattachent aux travaux de mine sans y être directement comprises.

[*Extrait par* M. J. PETITDIDIER, *ingénieur des mines, de l'*Oesterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen (*années* 1878 *et* 1879)].

NOTE SUR L'ASSOCIATION DES PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR DU NORD DE LA FRANCE.

Un décret du Président de la République, en date du 11 décembre 1879, a reconnu comme établissement d'utilité publique « l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France. » Les statuts de l'association, — insérés, en même temps que le décret, dans la partie administrative, page 362, — en font connaître le but et les moyens d'action.

Il a paru intéressant de donner, en outre, quelques détails sur le fonctionnement de cette association, qui rend d'importants services à l'industrie et apporte un concours efficace à la surveillance exercée par l'Administration.

Fondée en 1873, à Lille, l'association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France a, dès la première année, réuni sous sa surveillance 526 chaudières; elle en surveillait, en 1878, 1.108, réparties entre 328 établissements appartenant à 280 propriétaires.

Le personnel actif de l'association comprend un ingénieur en chef, trois ingénieurs, quatre inspecteurs, trois dessinateurs et un comptable. Les ingénieurs sont recrutés parmi les anciens élèves de l'École polytechnique et de l'Institut industriel du nord de la France. Les inspecteurs sont choisis parmi les mécaniciens de 1re classe des chemins de fer et les meilleurs élèves de l'École d'arts et métiers de Châlons.

L'association a divisé son service en service ordinaire et service extraordinaire.

Le service ordinaire, qui s'applique, sans rétribution spéciale, à tous les membres de l'association, comprend les visites des chaudières et des moteurs et l'envoi du procès-verbal de visite de chacune des chaudières.

Le service extraordinaire comprend les travaux demandés, à titre d'exception, par certains membres de la société, et qui donnent lieu à une rémunération indépendante de la cotisation annuelle.

Les visites des chaudières sont au nombre de deux, au minimum, par année.

L'une est une visite extérieure : elle consiste dans l'examen de toutes les parties visibles de la chaudière, dans l'inspection des

appareils de sûreté et d'alimentation et dans l'étude de la conduite du feu tant au point de vue de l'économie qu'à celui de la sécurité.

Au cours de ces visites extérieures, les ingénieurs s'appliquent à faire l'instruction pratique des chauffeurs, mécaniciens et autres personnes employées aux générateurs.

La seconde visite, dont l'importance est tout à fait capitale, est une visite intérieure. Elle consiste dans une inspection complète et minutieuse des carneaux, des tôles, des clouures et des assemblages tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la chaudière. Cette inspection permet de découvrir les défauts ou vices cachés qui, laissés inaperçus, pourraient occasionner des accidents. Les visites intérieures sont faites par les ingénieurs et par les inspecteurs; elles donnent lieu à un procès-verbal détaillé. Quand les industriels ne réclament pas la visite intérieure de leur chaudière, ils sont invités à s'y soumettre; en cas de refus, ils sont exclus de l'association.

Pendant les cinq premiers exercices, il a été fait 4.966 visites extérieures et 3.300 visites intérieures.

Les résultats obtenus pour la tenue des appareils de sûreté ont été considérables; le tableau suivant en donne une idée :

DÉSIGNATION DES APPAREILS.	EXERCICE 1873-1874.	EXERCICE 1876-1877.
Manomètres en bon état	40 %	92 %
Soupapes de sûreté en bon état	63 %	88 %
Chaudières pourvues de tubes de verre	29 %	78 %
Nombre de chaudières munies d'un seul tube indicateur de niveau de l'eau	65	4

La société tient aussi la main à ce que les industriels fassent la déclaration exigée par le décret du 25 janvier 1865, ou plutôt elle remplit elle-même cette formalité. Enfin l'association veille à ce que les industriels fassent éprouver leurs chaudières par les agents de l'Administration des Mines.

Cette grande vigilance a porté ses fruits : il n'est encore arrivé que deux accidents aux appareils soumis à la surveillance de la société.

Le premier a consisté dans l'écrasement des tubes supérieurs d'une chaudière semi-tubulaire par suite d'un manque d'eau, chez un industriel qui appartenait depuis si peu de temps à l'association que la visite extérieure de ses appareils n'avait même pas été faite.

Le second s'est produit chez un industriel qui avait été vainement invité, à plusieurs reprises, à faire procéder à la visite intérieure de ses chaudières : la première virole d'un réchauffeur s'est détachée par suite de l'usure de la tôle.

Ces accidents ne peuvent être attribués à la négligence des agents de la société.

Le personnel actif de l'association se met, à titre de service extraordinaire, à la disposition des industriels qui en font partie, pour passer, avec les constructeurs, les marchés relatifs à la fourniture d'appareils neufs, et en surveiller la construction et la livraison. L'association cherche, d'ailleurs, à faire comprendre à ses membres qu'ils ont intérêt à payer plus cher pour avoir des générateurs construits en métaux de qualité supérieure. Les tôles sont reçues par les agents de la société, qui les poinçonnent pour éviter les substitutions et visitent la chaudière avant le montage.

L'association a fait publier, à ses frais, le décret du 25 janvier 1865, ainsi qu'un extrait de la loi du 21 juillet 1856, et les a fait afficher dans tous les locaux où sont installées des chaudières. Elle a fait également afficher des instructions pratiques sur le service, la marche et l'entretien des générateurs.

L'association du Nord a fondé, en 1874, des concours annuels pratiques de chauffeurs qui ont donné les meilleurs résultats. Elle a créé un cours de chauffeurs à Roubaix, la ville de Lille en possédant déjà un depuis longtemps. L'État subventionne ces deux institutions.

Depuis sa création, l'association a publié plusieurs volumes comprenant des rapports annuels et des études d'intérêt général au point de vue de la sûreté et de l'économie. Le dernier de ces ouvrages et le plus important est le catalogue descriptif du musée formé par la société et dans lequel se trouvent réunis des types des principales détériorations constatées dans les chaudières. Une partie de ce musée a figuré à l'Exposition universelle de 1878, où elle a été fort remarquée.

RÈGLEMENT DE L'ASSOCIATION.

CHAPITRE Ier. — COMPOSITION DE LA SOCIÉTÉ. — ADMISSION, DROITS ET OBLIGATIONS DES MEMBRES.

Art. 1er. — Toute personne qui veut faire partie de la société doit faire la demande indiquée à l'article 11 des statuts.

Cette demande est soumise au conseil d'administration dans sa plus prochaine séance.

Art. 2. — Si le conseil d'administration accepte la demande, les agents de l'association visiteront dans la quinzaine suivante les appareils à vapeur de l'industriel.

Ils lui transmettent leur rapport, avec invitation, s'il y a lieu, de se conformer à leurs observations.

Art. 3. — L'admission définitive surviendra aussitôt après la mise en état des appareils.

Elle sera constatée par un certificat signé du président du conseil d'administration.

Art. 4. — Les cotisations des membres ordinaires sont fixées comme suit par chaque chaudière :

NOMBRE DE CHAUDIÈRES d'une même maison appartenant à un même groupe d'établissements.	1-5	6-10	11-15	16-20	21 et au delà.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
Chaudière de 5 mètres carrés de surface et au-dessous. . .	28	18	»	»	»
Chaudière de 5 à 10 mètres. . .	30	26	»	»	»
Chaudière de 10 mètres et au-dessus.	40	35	15	10	5

Art. 5. — La visite intérieure des chaudières étant capitale, puisqu'elle a pour objet de découvrir les défauts des tôles et des rivures, et en général tous les vices cachés qui, laissés inaperçus, peuvent donner lieu à des accidents graves, les sociétaires sont obligés de faire visiter leur générateur une fois par an.

Art. 6. — Toute visite intérieure doit être précédée d'une demande écrite adressée à l'ingénieur en chef de l'association, huit jours au moins à l'avance.

Art. 7. — L'ingénieur en chef de l'association est tenu de soumettre au conseil d'administration les noms des industriels qui, pendant deux exercices consécutifs, n'auraient pas fait visiter leur chaudière intérieurement.

Art. 8. — Après deux lettres de rappel délibérées au conseil d'administration, et restées sans effet, un industriel pourra être exclu de l'association par le conseil, mais seulement après avoir invité le membre en défaut à formuler des explications en sa présence.

Art. 9. — La visite extérieure a pour but la vérification des appareils d'indication et de sûreté, tels que niveaux, manomètres, soupapes, l'examen des différentes dispositions imposées par les lois et règlements spéciaux aux appareils à vapeur.

L'inspecteur est tenu de donner à chaque visite toutes les indications nécessaires pour assurer la bonne marche de la chaudière inspectée et un bon emploi du combustible.

Art. 10. — Les visites extérieures sont faites, sans aucun avertissement préalable, à une époque quelconque de l'année, suivant les exigences du service de l'association.

Art. 11. — En cas d'explosion ou d'accidents graves n'ayant même occasionné ni mort ni blessure, les membres de l'association sont tenus d'en informer immédiatement l'ingénieur en chef, sans préjudice de la déclaration que la loi les oblige à faire aux autorités administratives et judiciaires.

Art. 12. — Toute modification ou réparation importante des appareils à vapeur doit être signalée à l'ingénieur en chef de l'association avant sa mise à exécution.

Suivant le cas et d'après les règlements administratifs, il pourra être procédé à un essai à la presse hydraulique.

Art. 13. — Le personnel de l'association peut être appelé extraordinairement, lorsque les exigences de son service le lui permettent, à visiter les appareils des membres de l'association, à les expérimenter, ainsi qu'à établir des plans et devis; le tout moyennant une rétribution déterminée par le conseil d'administration.

Art. 14. — Dans le cas d'essais dynamométriques n'ayant pour but que de reconnaître le fonctionnement de la distribution de vapeur, le coût de ces essais est fixé à 20 francs.

Art. 15. — Tous les déplacements du personnel pour les visites ou travaux extraordinaires seront fixés à 13 centimes par kilomètre de chemin de fer et 30 centimes par kilomètre de route.

CHAPITRE II. — ASSEMBLÉES GÉNÉRALES.

Art. 16. — Il sera tenu chaque année, au mois de mars, une assemblée générale.

Art. 17. — Le jour auquel aura lieu l'assemblée sera fixé par le conseil d'administration; des lettres de convocation indiquant l'ordre du jour seront adressées par le président à tous les sociétaires; ces convocations devront être faites au moins cinq jours à l'avance.

Art. 18. — Toute proposition faite en assemblée générale et ne figurant pas à l'ordre du jour ne pourra, sauf les cas d'urgence, être discutée avant d'avoir été soumise à l'examen du conseil d'administration, qui décidera, après avoir entendu l'auteur de la proposition, s'il y a lieu de la prendre en considération.

Art. 19. — La police de l'assemblée appartient au président de la séance, qui peut rappeler à l'ordre.

Art. 20. — Tout membre rappelé à l'ordre n'obtient plus la parole sur l'objet en discussion.

CHAPITRE III. — CONSEIL D'ADMINISTRATION.

Art. 21. — Le conseil choisit dans son sein ses président, vice-président, secrétaire et trésorier.

Art. 22. — Le conseil se réunit à Lille autant de fois que besoin est.

CHAPITRE IV. — BULLETINS.

Art. 23. — Il sera publié chaque année un certain nombre de bulletins renfermant les procès verbaux de l'assemblée générale, ainsi que les travaux que le conseil d'administration jugera de nature à intéresser les membres de l'association.

Art. 24. — Les bulletins sont adressés gratuitement à tous les membres ordinaires ou correspondants de l'association.

Art. 25. — Le bulletin peut être adressé par voie d'échange aux directeurs de journaux et revues, ainsi qu'aux sociétés qui en font la demande.

Art. 26. — Tout auteur d'un travail inséré au bulletin recevra, sur sa demande, cinq exemplaires du numéro dans lequel ce travail aura été publié.

Art. 27. — Les auteurs des travaux publiés au bulletin pourront faire faire à leurs frais des tirages à part.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME SEIZIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALOGIE.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME SEIZIÈME.

Pl. I, II et **III.** — Procédés de perforation au diamant du sondage de Neuville.

Pl. IV, *fig.* 1 à 11. — Emploi de l'électricité pour le tirage des coups de mine.

Pl. IV, *fig.* 12 à 17. — Essai de pose de la voie Hilf.

Pl. V. — Influence des pentes sur le prix de revient kilométrique d'une tonne de marchandises.

Pl. VI. — Emploi de la détente dans les machines d'extraction.

Pl. VII et **VIII.** — Voiture à vapeur de M. Belpaire.

Pl. IX et **X.** — Sources minérales de Vichy et des environs.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.



Fig. 13.

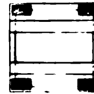
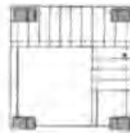


Fig. 7.

9.

Fig. 12.

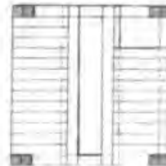


K L

N° 6

N° 5

Fig. 11.

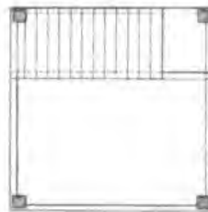


8.

N° 4

25m 26

Fig. 10.



N° 3

N° 2

N° 1

G

chelle des Fig. 4 à 14 de 0m 005 pour 1 mètre

5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 mètres

Macquet del. et sc.

nales d

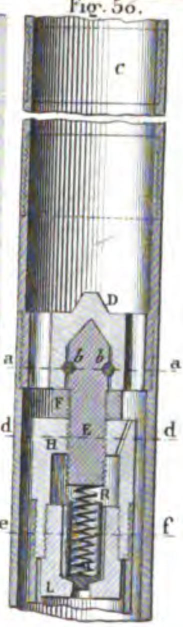
Fig

Fig. 44.





Fig. 50.



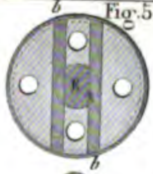


Fig. 52.

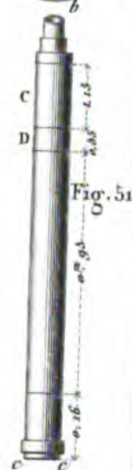


Fig. 51.



Fig. 53.

Fig. 54.



Fig. 55.



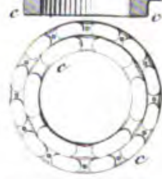
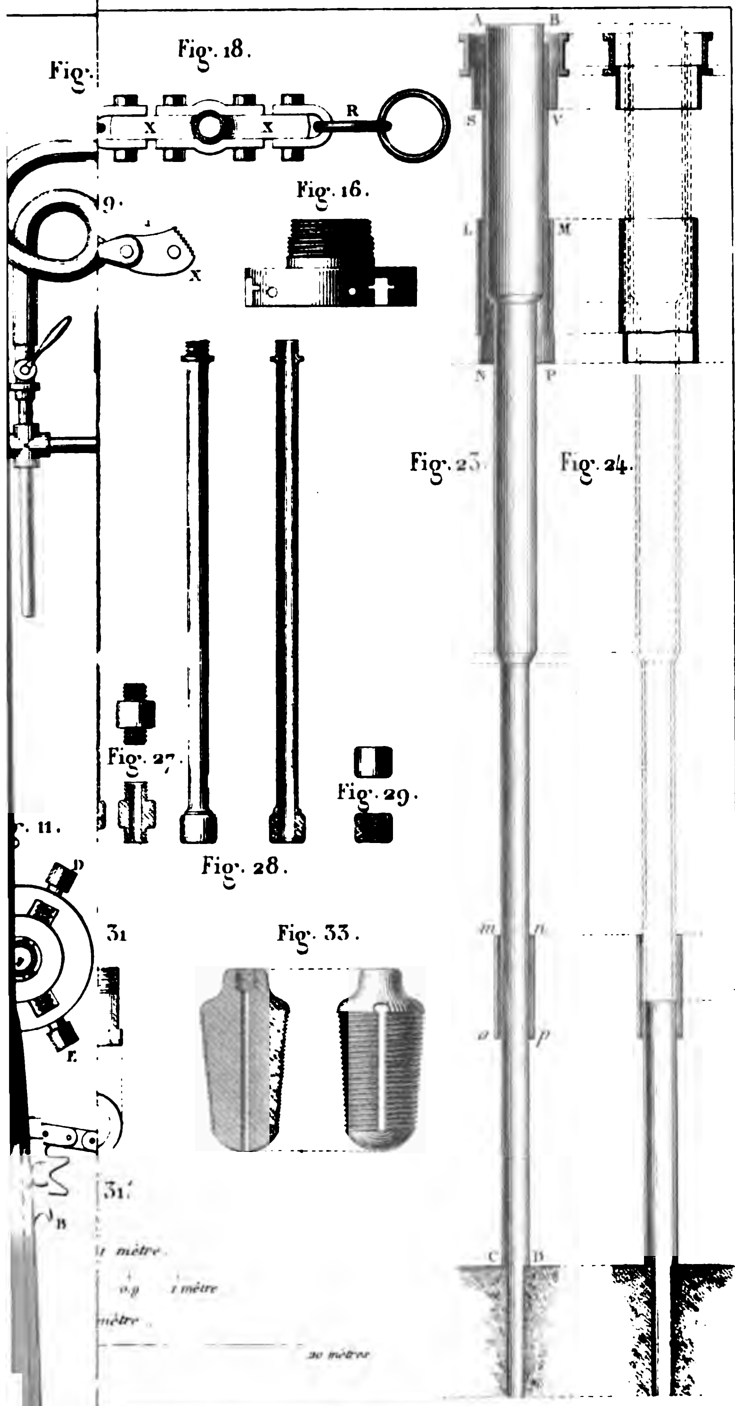


Fig. 56.

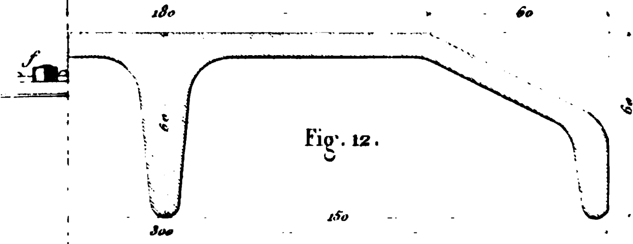
1 mètre
0,8 0,9 1 mètre
pour 1 mètre
0,9 1 mètre
mètre
10 mètres

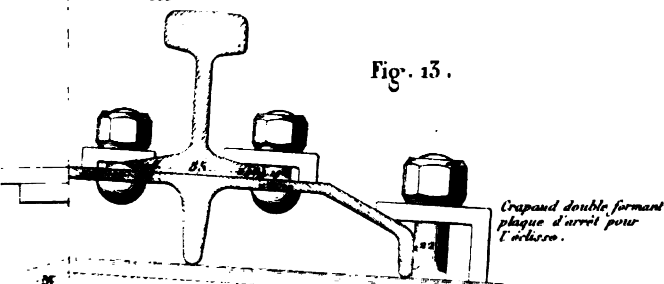
ales des

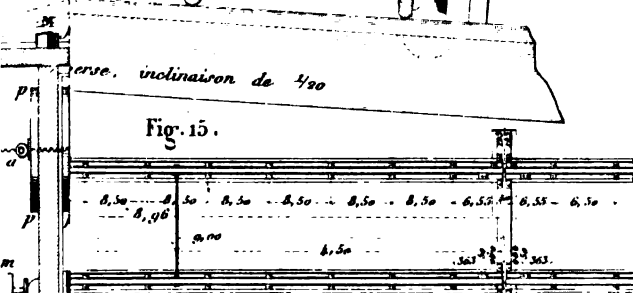
Macquet del. et sc.

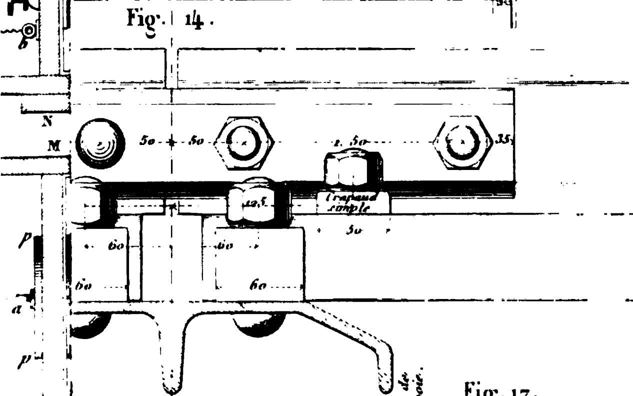


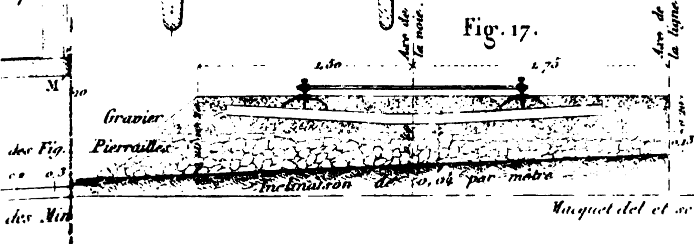
Macquet del. et sc.





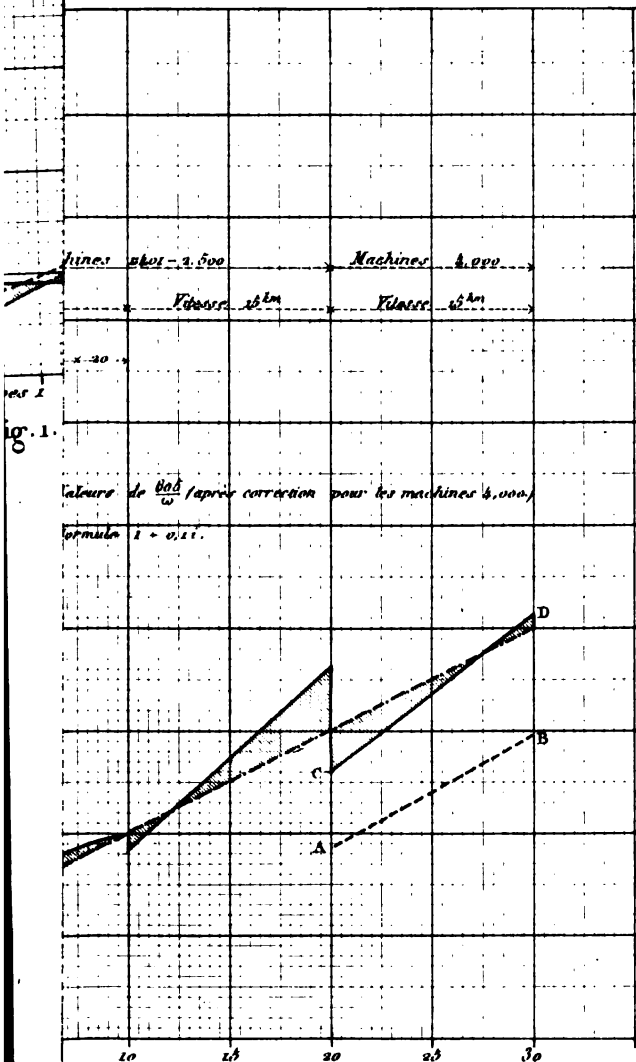






Macquet del et sc.

Fig. 4.



Macquet del. et sc.

Fig. 3.

Fig. 6.

1^{at}

Fig. 7.

4^k 3^k 2^k 1^k 0

2^e tour

Fig. 8.

30^e tour

1^{at}

3^k 2^k 1^k 0

Fig. 14.

2^e tour

1^k 0

Fig. 15.

20e tour

Fig. 16

25e tour

1^{at}

Fig. 17.

3e tour

Fig. 20.

4e tour

1^{at}

10

Fig. 18.

18e tour

Fig. 21.

4e tour

1^{at}

Fig. 19.

24e tour

Fig. 22. c d e

b

26e tour

a

1^{at}

Fig. 23.

2e tour

g f

Fig. 24.

22e tour

1^{at}

Ech. des Fig. 3 6, 7 et 8
de 5^mm 5 par atmosphère.

Ech. des Fig. 14 à 25
de 5^mm par kilogramme.

Fig. 25.

42e tour

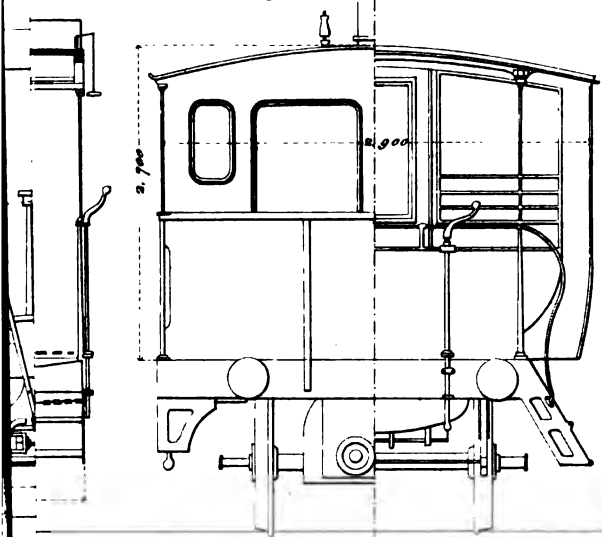
1^{at}

10 90

Vin^e Séré

Macquet del. et sc.

Fig. 2.



Légende

A. *Chambre de la Machine.*
B. *Compartiment destiné aux bagages.*
C. *Couloir donnant accès au compartiment de 2e classe.*
D. *Compartiment de 2e classe contenant 22 personnes.*
E. *Compartiment de 1ère classe contenant 22 personnes.*
F. *Terrasse donnant accès au compartiment de 1ère classe.*
G. *Porte roulante venant en G' lors du chargement des bagages.*
H. *Porte qu'il est possible de ménager pour permettre aux agents de communiquer entre eux.*

2,020

Macquet del. et sc.

G
Fig. 11.
Fig. 15.
D'
P
L'
A
A
L'
P'
D'
Fig. 17.
B
B
D
H
G
O
Fig. 14.
G
E
F
A

Fig. 2.

N.

Clos des Capucins

A B

Buvette des Mesdames

P. Chomel

P. Carré

Grande-Grille

S. Prunelle

Nouveau puits Lucas

S. des Acacias

S. du Parc

Buvette

Ancien Parc

Pl. de l'Hôtel de Ville

S. de l'Hôpital

H G C D E F

X V S R T U Q

Z

Nouv. Célestins

Anc. Célestins

L M K

S. Lardy

Peyroux

Nouveau Parc

l'Allier R.

Carrières.

Granite.

Porphyres.

T. carbonifère.

T. miocène.

Basalte.

T. pliocène.

Filons ou cassures.

Perimètres de protection.

Echelle de la Fig. 1 (1/60.000)

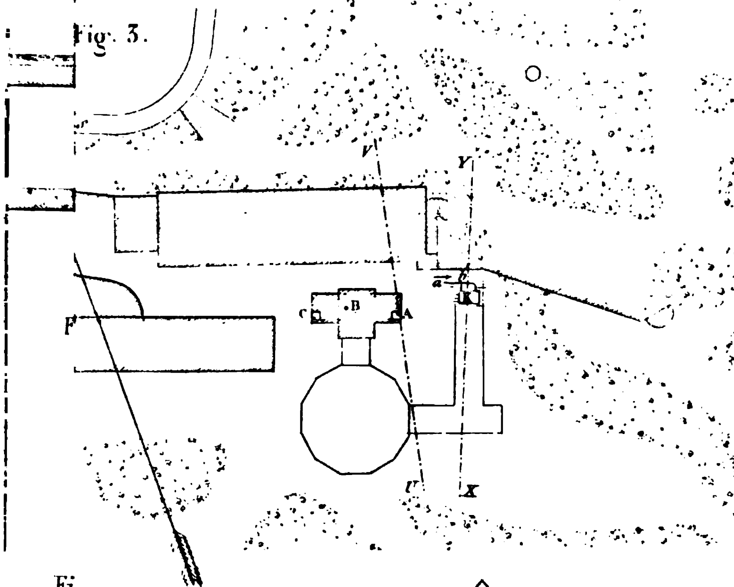
1 2 3 4 5 kilom.

Echelle de la Fig. 2 (1/8,000)

0 100 200 300 400 500 mèt.

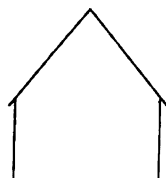
Macquet del. et sc.

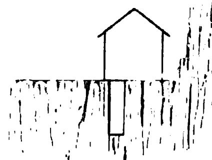
Fig. 3.



Fi

Fig. 5.





A

Fig. 8.

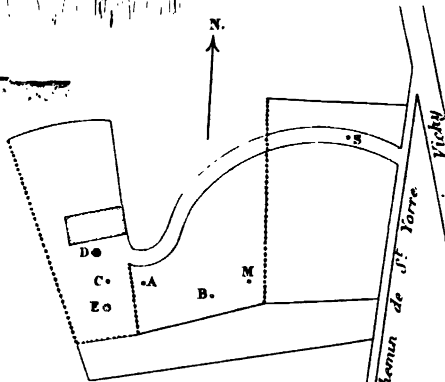


Fig 1 et 2

3 4

Fig. 4, 5

5 6 7 8

de la K

10

de la Fig

2 3

de la Fig.

de la Fig. 8 de 0^m 025 pour 100 mètres

100 200 250 mètres

des Mines

Marquet del et sc.

